This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1089.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1877.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
4003 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1877.

PARIS,

AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,

31, RUE BONAPARTE.

—

1877

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Grosselets
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 5 JANVIER 1877.

PRÉSIDENCE DE MM. QUET ET BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 décembre 1876 est lu et adopté.

Au début de la séance, on procède à l'élection du bureau.

Le Bureau de l'année 1877 se trouve ainsi composé :

M. Becquerel (Edmond), *Président;*
M. Blavier, *Vice-Président;*
M. d'Almeida, *Secrétaire général;*
M. Cazin, *Secrétaire;*
M. Mouton, *Vice-Secrétaire;*
M. Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

Le Secrétaire général donne connaissance des dons que la Société a reçus depuis la dernière séance ; des instruments de physique ont été donnés par MM. de Romilly, Duboscq et Ducretet.

Le Président remercie les donateurs ; il espère que, grâce à leur généreuse initiative, la Société, qui déjà fait profiter ses

Membres d'une bibliothèque fournie des principaux ouvrages et surtout des grandes publications qui concernent les sciences physiques, pourra bientôt étendre ses moyens d'action et donner à ceux qui ne disposent d'aucune ressource de Laboratoire les appareils nécessaires aux études qu'ils auraient en vue.

Avant de céder le fauteuil à son successeur, le Président, dans une courte allocution, expose l'état actuel de la Société et résume les progrès réalisés dans l'année qui vient de finir.

Sont élus membres de la Société : MM. Colmet d'Huard, Directeur de l'Athénée, à Luxembourg (Belgique) ; Denayrouze (Louis), ancien Élève de l'École Polytechnique ; Faye, Membre de l'Institut ; Hugon, Ingénieur civil ; Lecoat (Élie), Sous-Directeur de l'*Eastern Telegraph*, à Bône (Algérie) ; Macé, Professeur au Lycée de Grenoble ; Meurien, Pharmacien à Lille ; Pache, Ingénieur en chef, à Mulhouse ; Paul (Amédée), Directeur de l'*Eastern Telegraph*, à Bône (Algérie) ; Payn (John), Sous-Directeur de l'*Eastern Telegraph*, à Marseille ; Serrin (Victor), Ingénieur ; Walferdin, à Nice.

M. de Romilly complète la Communication qu'il a faite l'an dernier sur l'entraînement des gaz, et fait devant la Société des expériences qu'il n'avait pu réaliser à ce moment.

M. de Romilly entre ensuite dans l'exposé d'un autre ordre de faits relatifs à la pénétration de l'air dans l'eau. Il a étudié cette pénétration avec différentes ouvertures. Avec des ouvertures capillaires, il s'est trouvé conduit à un ensemble de phénomènes du plus haut intérêt, dont il n'est pas encore complétement maître et sur lesquels il fait espérer à la Société de revenir quelque jour. A la suite de cette étude, il fait devant la Société une expérience curieuse, l'ébullition de l'eau reposant sur une gaze à mailles assez larges.

Sur les effets d'un jet d'air lancé dans l'eau ;
par M. F. de Romilly.

Comme suite à des recherches sur l'entraînement de l'air ambiant par un jet d'air ou de vapeur (*Bulletin de la Société fran-*

çaise de Physique, année 1875, p. 75; *Journal de Physique*, t. IV, p. 267 et 334), j'ai fait l'étude des effets d'un jet d'air lancé dans l'eau.

Voici quelques phénomènes qui me paraissent intéressants.

1° Si le jet est lancé à la surface de l'eau, ordinairement la surface se trouble et donne des effets confus de bouillonnement et de projection; mais, si le jet est lancé normalement à la surface et qu'on éloigne peu à peu le lanceur, il se trouve une distance où la dénivellation prend l'aspect d'une poche plus profonde que large et parfaitement lisse, possédant un mouvement de rotation peu rapide.

L'expérience peut se faire dans un verre ordinaire, avec un lanceur de 1 à 2^{mm} en communication avec un gazomètre donnant une pression constante de quelques centimètres d'eau. Il arrive alors souvent que le jet rend un son faible, très-doux et très-pur; ce son se renforce si l'on donne à côté la même note sur un violon; il s'éteint et la surface de la poche liquide se trouble si la note est discordante.

Ce phénomène rappelle l'expérience classique de Savart sur les jets d'eau.

2° Lorsque le tube d'où l'air doit émerger plonge dans l'eau, voici ce qui se passe : pour se rendre un compte exact du phénomène, il faut que le tube parte du fond d'un récipient en verre plein d'eau et s'arrête à $0^m,10$ ou $0^m,20$ de la surface : alors, bien que l'air soit ainsi poussé de bas en haut, et par la pression et par la différence du poids spécifique, il ne s'élance point brusquement vers la surface, mais s'épanouit d'abord à la sortie et forme autour du tube une chambre sphérique d'air persistante qui descend de $0^m,1$ à $0^m,2$ au-dessous de l'orifice, maintenant ainsi sur une certaine longueur le bout terminal du tube hors du contact de l'eau.

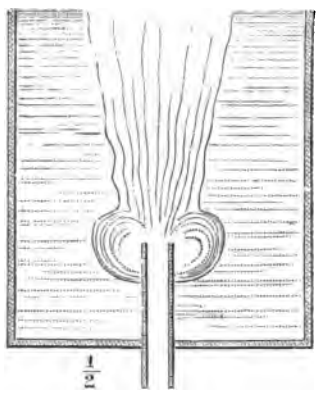
On a donc une colonne d'air ascendante, ayant une base qui a plus du triple du diamètre de l'orifice de sortie.

Cette colonne d'air est tremblante à sa périphérie; elle ne forme donc plus un cylindre régulier, mais elle a notamment une première irrégularité qui mérite l'attention : c'est qu'à peu de distance au-dessus de l'orifice elle se resserre pour s'élargir de nouveau.

Voici la représentation approchée, à l'échelle de moitié, de

l'expérience faite avec un tube mince de 6 millimètres de diamètre intérieur, avec pression au réservoir d'air de 55 centimètres d'eau et plongé de 25 centimètres (*voir* la figure).

Fig. 1.



	m
Largeur de la chambre à air	0,035
Partie étroite	0,0225
Distance de l'orifice à la partie étroite.....	0,01
Distance de l'orifice au bas de la chambre	0,012

Ces mesures, à cause du tremblement de l'air, ne peuvent être qu'approximatives.

Si le tube est terminé par une surface plane, la bulle s'épanouit immédiatement sur cette surface; si la surface est insuffisante, la bulle déborde et descend au-dessous.

Il y a là deux phénomènes simultanés, correspondant à deux effets du jet : 1° effet d'expansion latérale, qui forme la chambre d'air; 2° effet de la partie centrale du jet, qui s'élance à travers la chambre à air et produit une aspiration à la partie étroite.

Il va sans dire que ce phénomène général se modifie, comme forme, avec l'inclinaison du tube et, comme grandeur, avec la différence de pression de l'air lancé et la contre-pression de l'eau ambiante. Avec de l'air ayant des excès de pression de plus en plus faibles, la sortie finit par avoir lieu bulle à bulle et le phénomène n'apparaît plus.

Quelques nouvelles expériences de capillarité;
par M. F. de Romilly.

L'air peut être conduit dans l'eau : 1° soit par un tube à large section; 2° soit par un tube capillaire; 3° soit par un tube large terminé en bas par une paroi continue, percée seulement d'un trou capillaire. Dans ces trois cas, l'air se comporte différemment.

Prenons ces trois tubes en verre et plaçons-les à côté l'un de l'autre, ayant leurs bases ouvertes au même niveau. Faisons-les mouvoir ensemble, en élevant ou abaissant, à l'aide d'une crémaillère, le support où ils sont fixés, et faisons-les communiquer avec le même gazomètre servant de réservoir commun d'air comprimé. Voici ce qui se passe :

1° Dans le tube large, l'air sortira jusqu'au niveau correspondant à la pression; là il s'arrête. Si l'on remonte le tube, dès que ce niveau sera dépassé, l'air sortira.

2° Dans le tube capillaire, la même chose aura lieu, seulement le niveau réel est diminué par la force capillaire et les effets d'arrêt et de sortie de l'air auront lieu à un niveau moins profond.

3° Le tube large à trou capillaire se comporte d'une manière toute spéciale ([1]). Si le trou capillaire est de même diamètre que le tube capillaire, en plongeant les deux tubes, l'air comprimé sortira en même temps des deux orifices, et, arrivé au niveau capillaire, l'air cessera de sortir dans les deux simultanément; mais, si l'on continue à enfoncer les deux tubes, l'eau entrera immédiatement dans le tube capillaire, tandis que l'air persistera à remplir le tube à trou capillaire, et, si l'on continue à descendre, on arrivera à dépasser même un peu le niveau du tube large avant que l'eau rentre. Si alors on remonte ensemble le tube capillaire et le tube à trou capillaire, une nouvelle différence se manifeste : l'air jaillira du tube capillaire au lieu même où il avait cessé de

---

([1]) Pour examiner la transition entre les phénomènes du trou capillaire et ceux du tube capillaire, on termine un large tube par un tube capillaire trop court pour satisfaire à la capillarité; on voit alors, en rendant ce petit tube de plus en plus court, que le trou capillaire n'est qu'un tube capillaire dont deux les extrémités se confondent sur le même plan.

jaillir lors de la descente, mais il ne jaillira pas du tube à trou capillaire : il y aura un retard considérable; ce n'est qu'en montant plus haut que le jet s'élancera. En arrêtant le tube à trou capillaire dans la phase du retard, on pourra constater un phénomène de persistance nettement accusé : la moindre cause peut faire partir d'une façon continue ou arrêter l'air. Ainsi, si l'air arrive par un tube de caoutchouc, on peut produire indéfiniment, à la suite l'un de l'autre, les deux effets contraires : il suffit de pincer, soit brusquement, soit doucement, le tube, pour provoquer soit la sortie persistante, soit l'arrêt persistant, le niveau du tube demeurant fixe.

De la suspension et de l'ébullition de l'eau sur un tissu à larges mailles; par M. F. de Romilly.

A la suite d'études que je faisais sur la capillarité, j'ai été amené à me demander si un tissu tendu sous une cloche pleine d'eau ne garderait pas cette eau au milieu de l'air ambiant, comme le font les tubes capillaires. C'est, en effet, ce qui a lieu : on prend, par exemple, une cloche en verre de $0^m,20$ de diamètre, on ferme la base ouverte par un tulle à larges mailles (2 à 3^{mm} de côté), on fixe cette cloche par un support de manière que la base ouverte soit en bas et bien horizontale, on plonge ensuite cette base dans une cuve pleine d'eau et l'on aspire l'eau à l'aide d'un tube fixé à une douille placée au haut de la cloche.

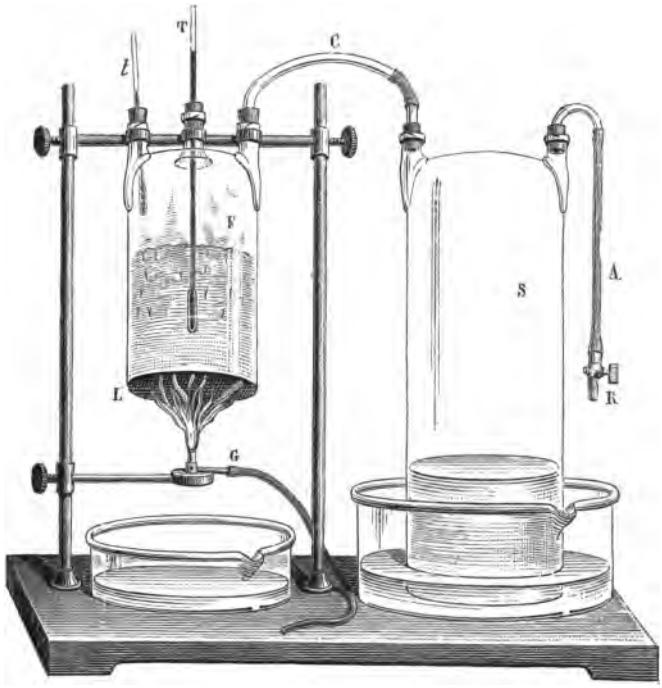
Après avoir fait monter l'eau dans la cloche à une hauteur quelconque, on ferme la rentrée de l'air par la douille au moyen d'un robinet. On peut alors retirer la cuve, l'eau se maintiendra dans la cloche. A chaque maille du tissu, on voit un ménisque très-prononcé.

La température influe sur les phénomènes capillaires ; cependant l'eau peut être portée à 100° et au-dessus, sans qu'elle s'écoule. Ainsi l'on prend une cloche fermée par un morceau de tulle à sa partie ouverte, on y fait tenir de l'eau en suspens, puis on place un bec de gaz allumé sous l'eau en suspens : la flamme s'épanouit sous la surface liquide; l'eau s'échauffe et bout sans tomber. Un

tulle presque invisible peut servir indéfiniment à cette expérience. La chute n'arrive que lorsque l'ébullition est trop violente; mais, en réglant le feu au moment où un thermomètre, plongé dans l'eau, va atteindre 100°, on peut maintenir indéfiniment une ébullition tranquille.

Pour être sûr du succès de l'expérience, on fait communiquer la cloche à ébullition avec une autre, dont le fond libre reste plongé dans une cuve d'eau; l'aspiration détermine l'arrivée de l'eau dans

Fig. 1.



F, cloche à trois tubulures de 15 centimètres de diamètre; — T, thermomètre pour l'eau; — *t*, thermomètre pour l'air intérieur; — C, tube large de communication; — L, tube de 1^{mm}; — J, jarretière en caoutchouc; — G, bec de gaz; — S, grande cloche de réserve; — A, tube de caoutchouc; — R, robinet d'aspiration.

les deux à la fois. La dilatation de l'air échauffé dans la cloche à tissu partage ses effets entre les deux cloches, et l'eau ne tombe pas. Avec une seule cloche, la dilatation de l'air et la vapeur feraient tomber peu à peu de petites masses d'eau, et la cloche pourrait se vider avant que l'eau arrivât à l'ébullition.

Il est à remarquer que ni avant ni pendant l'ébullition, les bulles formant les ménisques ne se déplacent pour monter à la surface; elles demeurent stables, de petites bulles d'air d'abord, de vapeur ensuite, se forment sur la paroi ou même sur les fils du tissu et demeurent en contact avec les ménisques, puis grossissent peu à peu et montent à la surface.

Cette expérience d'ébullition de l'eau sur un tissu réussit très-couramment avec une cloche de $0^{m},60$ à $0^{m},70$ de diamètre et du tulle de 2^{mm} de côté.

SÉANCE DU 19 JANVIER 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 janvier est lu, et, avant qu'il soit adopté, M. de Romilly présente quelques observations au sujet du dernier compte rendu de la Société. Il dit qu'il ne veut pas occuper la Société à faire une rectification qui serait trop longue et désire qu'on se réfère, pour connaître les résultats obtenus, à la Note qu'il a insérée dans le *Bulletin* de la Société (année 1875, p. 75) et à celle qui se trouve insérée dans le *Bulletin* de l'année actuelle, p. 2-8.

M. Belloc, Ingénieur à l'Isle-sur-Serein, est élu membre de la Société.

M. Cavaillé-Coll adresse une lettre dans laquelle il offre de répéter, devant les membres de la Société qui voudront bien se réunir chez lui, les expériences d'acoustique dont il a été témoin. On réussit à améliorer les conditions acoustiques d'une salle d'un monument péchant par excès de sonorité à l'aide de simple fils de coton tendus suivant certaines directions. La réunion est fixée au jeudi 25 janvier, à 1 heure, chez M. Cavaillé-Coll.

Sont nommés membres du conseil :

Membres résidants :

MM. D'Arlincourt.
Fernet.
Marey.
Marié-Davy.

Membres non résidants :

MM. Crova, de Montpellier.
Secchi, de Rome.
Spottiswoode, de Londres.
Terquem, de Lille.

M. Quet annonce que M. le Ministre de l'Instruction publique a accordé à la Société les Œuvres de Fresnel.

M. Niaudet présente les comptes de la Société.

Il est procédé à l'élection de trois membres pour composer la Commission des comptes. Sont élus :

MM. Quet.
Fernet.
Duboscq.

M. Duboscq présente de nouvelles expériences d'optique qu'il réalise à l'aide de son appareil de projection pour la lumière polarisée, et qui sont fondées sur la persistance des impressions sur la rétine. Il est fait usage de la lumière Drummond pour ces expériences.

M. Rouart présente, au nom de M. Bisschop, un petit moteur à gaz qui fait un travail d'environ 6 kilogrammètres par seconde. Les particularités nouvelles sont les suivantes. Le mélange explosif est allumé par un petit bec de gaz qui ne s'éteint pas par l'explosion, parce qu'une soupape se ferme brusquement après que ce bec a enflammé le mélange. Il n'y a pas de circulation d'eau pour refroidir le cylindre ; la surface du cylindre présente un grand développement qui rend suffisant le refroidissement par l'air; la machine est d'ailleurs maintenue à une température assez élevée, ce qui paraît avantageux, en empêchant la condensation des vapeurs acides. Il n'y a pas de graissage du piston, lequel est poli et ferme exactement quand la machine est chauffée au point voulu. Cette particularité exige qu'on chauffe préalablement le cylindre pour la mise en marche.

Le modèle mis sous les yeux de la Société faisait fonctionner deux machines électromagnétiques de Gramme; sa dépense est de 350 litres de gaz par heure.

M. Montenat fait l'expérience du tuyau chantant en faisant des-

cendre dans un tuyau métallique, soit une toile métallique portée d'avance à une haute température, soit une corbeille de toile métallique contenant de la braise chimique allumée. Les sons obtenus sont très-intenses.

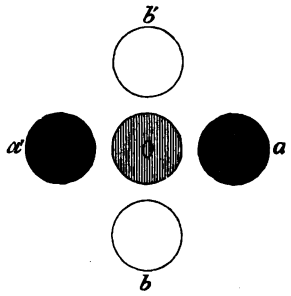
Expériences de projection où l'on utilise la persistance des impressions sur la rétine; par M. J. Duboscq.

Quand on ajoute à un appareil ordinaire de projection une pièce mobile, à laquelle on peut communiquer un mouvement de rotation rapide, un certain nombre d'expériences classiques deviennent, grâce à la persistance des impressions sur la rétine, susceptibles d'une forme inaccoutumée et intéressante.

En premier lieu, si l'on adapte au porte-lumière un diaphragme à trou circulaire, suivi d'une lentille à court foyer et d'un prisme d'Amici (dit à *vision directe*), produisant une légère déviation pour la couleur rouge, le spectre linéaire connu, à bords circulaires, se transforme, quand on fait tourner rapidement le prisme, en un anneau coloré, rouge en dedans et violet en dehors.

Mais c'est surtout dans les expériences de polarisation que l'em-

Fig. 1.



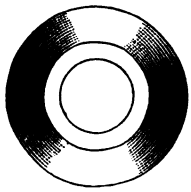
ploi du mouvement de rotation fournit des dispositions remarquables. Il suffit, en effet, de communiquer à l'analyseur un mouvement rapide de rotation pour observer sur le tableau de projection une figure annulaire, présentant, suivant ses divers diamètres, les apparences que l'on observe d'ordinaire successivement quand on

fait tourner l'analyseur à la main. Nous allons indiquer l'apparence que prennent dans ces conditions les expériences les plus connues.

1° *Polarisation blanche.* — Placez en arrière d'un diaphragme à trou circulaire un polariseur, une lentille à court foyer, et enfin un analyseur biréfringent, monté de manière à pouvoir être animé d'un rapide mouvement de rotation. Quand on tourne lentement l'analyseur, l'image centrale (*fig.* 1), correspondant au rayon ordinaire, demeure immobile, et l'image extraordinaire tourne autour de celle-ci : les deux images éprouvent d'ailleurs les changements connus d'intensité.

Grâce à la rotation rapide, l'image centrale prend une teinte grise d'intensité moyenne, et l'image extraordinaire s'épanouit en un anneau sombre suivant le diamètre *aa'* (*fig.* 2), et présentant

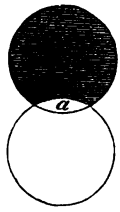
Fig. 2.



une intensité lumineuse croissant jusqu'au diamètre perpendiculaire *bb'*.

Si l'on choisit le trou du diaphragme de manière que les deux images empiètent l'une sur l'autre (*fig.* 3), la portion commune *a*

Fig. 3.

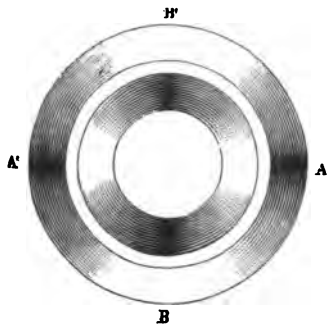


fournira un anneau lumineux, sur le fond gris de l'image ordinaire ; et ce premier anneau est entouré d'un second présentant l'apparence de celui de la *fig.* 2.

Enfin, si l'on revient au diaphragme à trou étroit, mais en em-

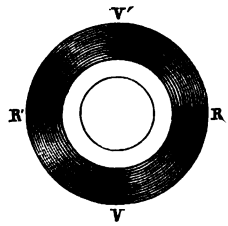
ployant comme polariseur un prisme biréfringent, on obtiendra l'apparence plus compliquée (représentée par la *fig.* 4) de deux anneaux concentriques dont les parties obscures sont situées sur deux diamètres rectangulaires.

Fig. 4.



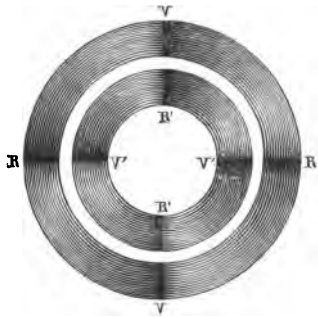
Polarisation chromatique et rotatoire. — Conservons les dispo-

Fig. 5.



sitions du paragraphe précédent, et interposons entre l'analyseur et

Fig. 6.



le polariseur une lame de quartz perpendiculaire à l'axe, d'épais-

seur quelconque ; on obtiendra, par la rotation rapide de l'analyseur, une image centrale blanche, entourée d'un cercle sur lequel les couleurs complémentaires occuperont des diamètres rectangulaires (*fig.* 5). Par exemple, à un diamètre horizontal rouge correspond un diamètre vertical offrant le vert complémentaire. La *fig.* 6 se rapporte au cas où le polariseur est un prisme biréfringent.

Toutes les pièces nécessaires à ces expériences sont disposées pour s'adapter à mon appareil pour la projection des expériences de polarisation.

Procédé employé pour atténuer la résonnance des salles de réunion. Lettre de M. A. Cavaillé-Coll.

Paris, le 19 janvier 1877.

Monsieur le Président,

« J'ai l'honneur d'appeler l'attention de la Société sur une expérience d'acoustique qui a pour objet d'atténuer au degré voulu la résonnance excessive de certains édifices, tels que les églises, les salles de conférences et de concerts.

» Cette expérience, très-facile et peu coûteuse à reproduire, consiste à tendre dans l'intérieur du bâtiment des fils de laine ou de coton très-flexibles et presque invisibles, qui neutralisent d'une manière efficace les résonnances dues à la réflexion des ondes sonores par les parois de l'édifice et facilitent la perception distincte de la parole et des sons.

» Ce procédé très-curieux paraît avoir été découvert en Angleterre : le journal *la Nature* et *les Mondes*, de M. l'abbé Moigno, ont rendu compte, en 1873, d'une expérience faite par M. Robert S. Gregg, pour corriger la répercussion gênante des sons dans la cathédrale de Saint-Fint-Barre (Cork), Irlande, dont la nef a une très-grande hauteur.

» L'année dernière, une Commission de savants a fait usage de ce même procédé pour améliorer les conditions acoustiques du Palais de l'Industrie, à Amsterdam, où j'ai placé un grand orgue. Le journal *le Monde*, dans son feuilleton scientifique de ce jour, 19 jan-

vier 1877, donne quelques détails sur l'expérience que je viens de renouveler à l'église Notre-Dame-des-Champs, à Paris.

» J'ai pensé, monsieur le Président, que la Société française de Physique prendrait quelque intérêt à cette communication, et je me mets à sa disposition et à la vôtre pour vous soumettre, soit à l'église Notre-Dame-des-Champs, soit dans mon établissement, les essais que j'ai cru devoir faire pour me rendre compte de l'effet acoustique de ces fils presque invisibles.

» Veuillez agréer, monsieur le Président...

» A. Cavaillé-Coll. »

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. l'abbé Fontbonne, aumônier de l'hôpital militaire de Bône; Huet, inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine; Gossart, à Mareuil-sur-Ay.

Le Président donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique l'informant qu'il donne à la Société les *Annales scientifiques de l'École Normale* à partir du tome II.

Le Secrétaire général lit un passage d'une lettre de M. de Waha, professeur à Luxembourg, relatif à diverses expériences d'électricité.

M. Marey présente le résultat d'expériences sur la décharge de la torpille. Ces expériences, faites au moyen de la méthode graphique, ont montré que, si l'on excite un nerf de l'appareil électrique, il se produit un flux d'électricité qui retarde de $\frac{1}{60}$ de seconde sur l'excitation du nerf; le flux dure $\frac{1}{14}$ de seconde. Dans l'intégrité de l'animal les décharges volontaires sont composées d'une série de flux successifs, qui, suivant la température, varient de 20 à 140 secousses par seconde. L'appareil inscripteur, qui était le signal de M. Desprez, traduit par ses vibrations le nombre des flux de la décharge.

L'électromètre de M. Lippmann montre que le sens du courant est du dos au ventre de l'animal.

Les courants de la torpille font naître dans une bobine d'induction des courants qui actionnent aussi le signal inscripteur. Ces courants induits sont inverses de ceux de la torpille et naissent au début de chacun des flux de la décharge.

Dans la décharge de la torpille, comme chacun des flux dure environ dix fois plus que l'intervalle qui les sépare les uns des autres, il se fait une addition de ces flux qui accroissent graduellement l'intensité de la décharge.

Tous ces phénomènes correspondent de point en point à ceux que la myographie signale dans la production du travail musculaire.

M. Gariel présente un tableau graphique donnant immédiatement, sans calcul ni construction, pour une lentille d'une distance focale quelconque, la position de l'image d'un point dont la distance à la lentille est donnée.

M. Mascart communique quelques résultats relatifs à l'électricité atmosphérique. La seule quantité bien définie est la valeur du potentiel électrique en un point déterminé de l'atmosphère, et la bonté des méthodes dépend de l'exactitude avec laquelle cette valeur est fournie. M. Mascart discute à ce point de vue les divers instruments qui ont été employés, la mèche de Volta, la sphère de Dellmann, l'écoulement liquide de M. Thomson. Dans une série d'observations faites avec des mèches formées de papier à filtre imbibé de nitrate de plomb, MM. Mascart et Joubert ont constaté que la disposition des couches de niveau que peut faire prévoir la théorie est conforme à l'expérience dans le cas d'un ciel pur. L'électricité est alors à peu près toujours positive.

Diverses expériences d'électricit. Lettre de M. de Waha.

« Luxembourg, le 11 janvier 1877.

» Monsieur,

».... Je profite de l'occasion pour vous communiquer un résumé succinct de quelques expériences sur les effets mécaniques de l'électricité statique.

» 1° Deux pointes métalliques sont dressées verticalement au-dessus d'une plaque métallique, sur laquelle on a répandu une couche d'huile grasse. Ces pointes sont mises en communication avec les pôles opposés d'une machine de Holtz. La double effluve électrique dirigée de cette manière contre le liquide isolant qui recouvre la plaque y provoque la formation de deux figures électriques circulaires, dont le diamètre va en augmentant avec la distance des pointes à la plaque. Par un temps favorable, les contours de ces figures sont nettement limités, et le diamètre de chacune dépasse 40 centimètres. Elles sont formées par un grand nombre de rides profondes, d'une mobilité extrême, et sillonnant l'huile dans toutes les directions. On n'observe pas de différence frappante entre les deux figures.

» 2° Dans un vase en verre se trouve du mercure, qui est en communication métallique avec l'un des pôles d'une machine de Holtz; le pôle opposé vient se terminer en une pointe isolée, dressée à une certaine distance du mercure. Si l'on verse du pétrole dans ce vase, on le voit bientôt entrer dans une espèce d'ébullition des plus violentes sous l'influence de l'effluve électrique. La couche de ce dernier liquide, continuant à augmenter d'épaisseur, l'ébullition se ralentit; mais bientôt des milliers de gouttelettes très-fines de mercure se détachent du fond, traversent le pétrole et dépassent les bords du vase: elle se répand tout autour sur la table, à une distance assez considérable.

» Si l'on remplace le mercure par de l'eau, le phénomène est tout autre. L'eau s'élève sous la forme de cônes tournants qui pénètrent dans le liquide supérieur et du sommet desquels des bulles nombreuses se lancent sans cesse vers le haut.

» Inutile de rappeler l'analogie entre ces volcans mobiles et les éruptions qui se produisent sur le Soleil.

» 3° Le fond d'un vase en verre est traversé par une pointe métallique reliée à l'un des pôles d'une machine de Holtz, l'autre pôle étant en communication avec le sol. Si l'on vient à verser du pétrole dans ce vase, il se forme un jet de ce liquide dont la hauteur atteint un mètre. L'huile minérale, dans cette expérience, est en même temps aspirée et repoussée par l'extrémité de la pointe, car le jet se produit alors même que la pointe n'est pas entièrement submergée.

» 4° Une étincelle électrique qui éclate dans le voisinage d'une plaque en verre noircie au noir de fumée y dessine une certaine figure dans laquelle on distingue des lignes plus sombres qui paraissent être le résultat de l'interférence de deux ou plusieurs ondes d'ébranlement provoquées par la même étincelle.

» Si, en poursuivant cet ordre d'idées, on fait éclater deux étincelles en même temps aux extrémités d'un tube en verre noirci à l'intérieur, et dont la longueur dépend de la force des étincelles, on obtient une ligne d'interférence qui, sous la forme d'un anneau circulaire, tapisse les parois intérieures du tube.

» En examinant la forme de cet anneau au microscope, on trouve que souvent il est formé par trois anneaux parallèles, dont il est possible de mesurer les distances respectives; par suite, l'expérience permet d'assigner un minimum de durée à l'étincelle électrique.

» La position de l'anneau du milieu, par rapport aux deux étincelles qui en ont provoqué la formation, permet, en théorie du moins, d'évaluer l'intervalle de temps qui sépare les deux étincelles et par suite la vitesse de propagation de l'électricité à travers le conducteur qui, dans une disposition convenable, relierait les deux étincelles.

» Veuillez agréer,

» DE WAHA. »

Sur les caractères des décharges électriques de la Torpille; par M. MAREY.

Des expériences antérieures, faites en inscrivant les mouvements que la décharge d'une Torpille provoque dans un muscle de Grenouille, m'avaient montré les deux faits suivants : Si l'on excite le bout périphérique d'un *nerf électrique* coupé, on provoque un courant qui retarde environ de $\frac{1}{60}$ de seconde sur l'instant de l'excitation du nerf (1).

La durée de ce courant, mesurée par une méthode assez ana-

(1) *Comptes rendus*, 9 octobre 1871.

logue à celle de Guillemin, m'a paru être d'environ $\frac{1}{14}$ de seconde [1]. L'analogie de ce retard et de cette durée avec ce qui s'observe quand on provoque la secousse d'un muscle en excitant le bout d'un nerf moteur coupé m'a fait désirer de pousser plus loin la comparaison et de rechercher s'il n'y aurait pas des analogies aussi grandes entre la *décharge électrique* volontaire que fournit la Torpille et les *contractions musculaires* que les animaux exécutent volontairement.

Fig. 1.

1. Signaux électromagnétiques produits par une décharge de Torpille,
2. Mêmes phénomènes, avec plus de fréquence des courants successifs.

Je crois avoir démontré comment les mouvements volontaires sont composés d'une série de secousses ou petits raccourcissements des muscles qui s'ajoutent et se fusionnent parfois complétement dans la contraction ou le tétanos. Serait-il possible de révéler des flux successifs d'électricité dans la décharge d'une Torpille comme on révèle, au moyen du myographe, les secousses multiples d'un tétanos musculaire ? Le *signal* électromagnétique de M. Marcel Deprez me sembla propre à tenter cette épreuve ; en effet, cet instrument, doué d'une mobilité extrême, peut inscrire, en une seconde, plus de six cents courants électriques successifs.

J'ai eu récemment l'occasion de faire l'expérience projetée. Appliquant sur les deux faces de l'organe électrique d'une Torpille deux plaques de métal reliées chacune à un fil de l'appareil inscripteur, je provoquai la décharge en excitant l'animal. L'instrument rendit un son strident annonçant qu'il avait vibré, et je trouvai inscrite sur le papier une courbe sinueuse (*fig.* 1).

Il était donc évident que la décharge d'une Torpille est un acte complexe formé de courants successifs qui se suivent à des intervalles très-courts : $\frac{1}{60}$ et $\frac{1}{140}$ de seconde dans les cas ci-dessus re-

---

[1] *Comptes rendus*, 16 octobre 1871.

présentés. Ce résultat confirmait les analogies déjà soupçonnées entre l'acte électrique et l'acte musculaire.

Il me semblait intéressant de savoir si les flux électriques dont se compose la décharge présentent la même intensité ; le tracé précédent semblerait le faire croire, mais cette égalité apparente est imposée aux tracés par la disposition même de l'instrument dont l'armature, à chacune de ses oscillations, butte contre un obstacle absolu qui limite l'excursion du style.

Je modifiai la construction du signal, et plaçant une pièce élastique entre l'armature et les électro-aimants, j'en fis un appareil à indications variables dont le style, par ses excursions plus ou moins grandes, devait exprimer l'intensité de l'effort exercé sur l'intermédiaire élastique.

En faisant passer à travers l'instrument une longue décharge comme on en obtient en piquant les centres nerveux de la Torpille, je recueillis le tracé (*fig.* 2), qui fait assister à toutes les phases de l'affaiblissement des flux électriques, du commencement à la fin de la décharge.

Assurément on ne saurait, d'après les amplitudes des signaux successifs, mesurer l'intensité des courants qui les ont produits, car l'élasticité de l'intermédiaire compressible varie dans un rapport inconnu avec le degré de la compression ; et, d'autre part, l'intensité de chaque flux présente des phases assez complexes. En tout cas, la *fig.* 2 montre

Fig. 2. — Tracé d'une longue décharge de Torpille, avec indication de la décroissance graduelle de l'intensité du flux.
(La ligne 2 est la suite de la ligne 1, et la ligne 3 celle de la ligne 2.)

clairement l'épuisement graduel des courants de la Torpille, épuisement de tout point comparable à celui des secousses d'un muscle qui se fatigue.

Le signal électromagnétique permet encore de constater que, si l'on prend pour inducteur la décharge d'une Torpille, on recueille dans le circuit induit des courants capables d'actionner le signal. La *fig.* 3 est le double tracé du courant inducteur (ligne 1) et du courant induit (ligne 2).

On remarquera dans cette figure que les signaux de l'inducteur et ceux de l'induit sont de même nombre, ce qui constitue une différence avec les courants induits par une pile, ceux-ci se produisant à la clôture et à l'ouverture du circuit inducteur.

Peut-être, dira-t-on, s'est-il produit, dans l'expérience précédente, deux courants induits pour chacun des flux de la Torpille; on comprendrait que le plus intense de ces courants fût seul ca-

Fig. 3.

Courants induits par une décharge de Torpille.

pable d'actionner le signal. C'est ainsi que cela se produit souvent quand on prend pour inducteur le courant d'une pile trop faible : la rupture seule actionne le signal qui est placé sur le circuit induit.

Cette supposition n'est pas admissible; le courant induit que chaque flux de la Torpille provoque arrive au début de ce flux; on en peut juger sur les tracés, toutes les fois que le signal de l'inducteur présente une certaine durée. Dans ces cas, il y a synchronisme parfait entre le début de l'inducteur et le signal de l'induit.

C'est donc aux courants induits de clôture que correspondraient ceux qui se produisent à chacun des flux de la Torpille; toutefois, cette expression ne peut être prise à la lettre, puisque le circuit par lequel passent les décharges de la Torpille est toujours fermé sur lui-même. J'appellerai donc ces courants induits *initiaux*, et

je montrerai, d'après le sens dans lequel ils cheminent, qu'ils correspondent bien à un induit inverse que provoque le début d'un courant inducteur.

En résumé, la décharge volontaire d'une Torpille est formée de l'addition d'une série de flux successifs et rappelle, par sa complexité, la nature de la contraction musculaire, qui se compose d'une série de secousses dont les effets s'ajoutent pour produire le raccourcissement du muscle.

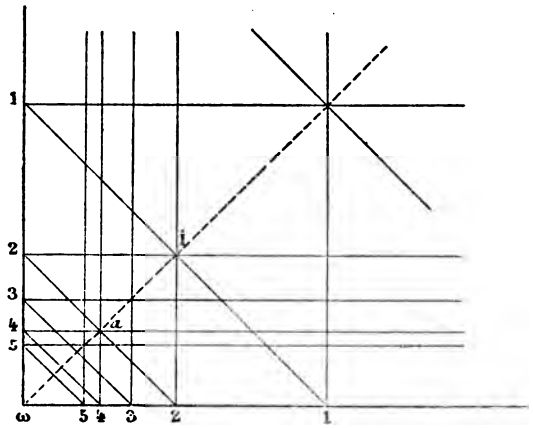
Abaque graphique des lentilles; par M. Gariel.

La formule classique des lentilles

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

qui donne facilement la position relative des foyers conjugués, ne

Fig. 1.



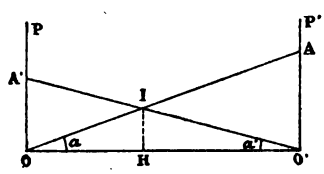
laisse pas cependant que d'être fastidieuse, lorsque l'on a à répéter un certain nombre de fois le même calcul; il y a avantage, surtout lorsqu'il n'est pas nécessaire d'avoir une très-grande exactitude, à remplacer la formule et les calculs correspondants par un tableau graphique.

On obtient immédiatement ce tableau en posant $x = \frac{1}{p}$ et $y = \frac{1}{p'}$ et l'on a des droites $x + y = \frac{1}{f}$ inclinées à 45° sur les axes, chaque droite correspondant à une valeur donnée de f. Ce tableau (*fig.* 1), qui peut rendre quelques services, n'est cependant pas d'un usage très-commode, parce que, les axes devant être divisés d'après les relations $x = \frac{1}{p}$, $y = \frac{1}{p'}$, il n'y a pas proportionnalité entre les longueurs mesurées et les nombres qu'elles représentent, de telle sorte que l'on ne peut que difficilement se servir de valeurs qui ne correspondent pas à des lignes tracées sur le tableau.

On peut tracer un tableau, qui, s'il ne présente pas la disposition ordinaire des abaques graphiques, jouit, en revanche, de la propriété que l'on peut, par proportionnalité, y mesurer toutes les valeurs. Nous sommes arrivé à cette construction en cherchant la projection conique du tableau précédent, ou autrement en cherchant la figure dont ce tableau serait la perspective. Mais on peut arriver directement à sa construction comme il suit, et cette méthode nous paraît plus simple :

Convenons de porter sur deux droites parallèles OP et O'P' (*fig.* 2), et à partir de deux points O et O' pris sur une perpen-

Fig. 2.



diculaire commune à ces droites, des longueurs O'A et OA' qui mesurent à une échelle déterminée les quantités p et p'. Il est facile de reconnaître que, si le point d'intersection I de ces lignes se meut sur une parallèle à OO', située à une distance IH de cette droite égale à f, les valeurs p et p' sont les distances de deux foyers conjugués à la lentille, dont la distance focale est f. On a, en effet,

$$\frac{OO'}{AO'} = \frac{OH}{IH} \quad \text{et} \quad \frac{OO'}{A'O} = \frac{O'H}{IH},$$

et, en ajoutant membre à membre,

$$OO'\left(\frac{1}{AO'}+\frac{1}{A'O}\right)=\frac{1}{IH}(OH+O'H),$$

soit

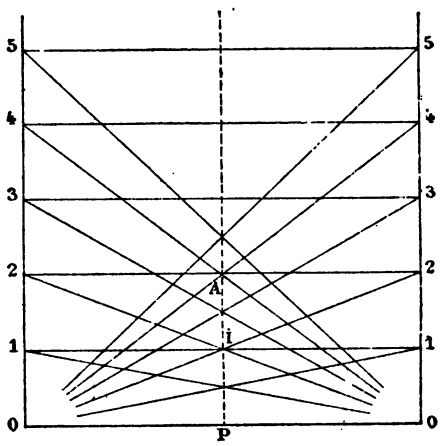
$$\frac{1}{AO'}+\frac{1}{A'O}=\frac{1}{IH},$$

ou d'après des données

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}.$$

Le tableau que l'on pourra employer, dont la *fig.* 3 donne une idée, et qui se trouve plus développé dans une planche placée à la fin du volume, comprendra :

Fig. 3.



1° Des lignes parallèles, également distantes et dont la distance à la ligne fixe OO′ mesurera f;

2° Des lignes divergeant de O et coupant la ligne verticale opposée à des distances égales; chaque ligne correspondra à la valeur de p, qui sera mesurée à l'échelle déterminée par la distance de O′ à la ligne;

3° Des lignes divergeant de O′ et satisfaisant aux mêmes conditions que les précédentes.

On se servira facilement de ce tableau en remarquant que les valeurs de p, p' et f qui se correspondent sont celles qui sont dé-

terminées par trois droites appartenant respectivement à chacun des systèmes précédents et se coupant en un même point.

Si l'on veut que le tableau puisse être employé dans tous les cas et puisse également servir pour les lentilles convergentes et les lentilles divergentes, il faut que l'une au moins des séries de lignes divergentes se continue au delà de la verticale correspondante ; ces lignes, qui font alors avec OO′ des angles obtus, correspondent à des valeurs négatives de p ou de p'.

Il peut n'être pas inutile de faire remarquer encore que, si les points d'intersection ne se trouvent pas sur des lignes déjà tracées, il suffirait de diviser *proportionnellement* les longueurs comptées perpendiculairement à O et O′ et comprises entre les lignes les plus voisines pour avoir la valeur exacte ; cette division peut le plus souvent se faire avec une exactitude suffisante à simple vue.

En employant un tableau complet, on peut résoudre immédiatement toutes les questions dans lesquelles, connaissant deux des trois quantités p, p', f, on veut trouver la troisième.

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Rey, Professeur de Mathématiques à l'École régimentaire du génie à Arras, est élu membre de la Société.

M. R. Benoît décrit les expériences qu'il a faites sur un électromètre construit par lui-même dans le système Thomson.

A l'occasion de cette Communication, M. Cornu dit qu'il s'associe complétement aux conclusions de M. Benoît : il fait remarquer que l'électromètre Thomson est le résultat d'études très-savantes ; que tous les organes accessoires qui ont été ajoutés à l'organe principal sont indispensables au bon fonctionnement de l'appareil, lequel a été construit en vue de mesurer directement et avec précision les différences du potentiel. Si quelques observateurs ont cru

devoir simplifier la construction de l'électromètre, non-seulement en supprimant les organes accessoires, mais encore en altérant profondément la forme de l'organe principal, ainsi que l'énergie de la charge constante, ils ne doivent pas s'étonner de voir que l'appareil ainsi transformé ne remplit plus le but proposé, et encore moins accuser l'électromètre Thomson, complet et bien réglé, de ne pas fournir directement et avec précision les différences du potentiel.

M. Mouton dit quelques mots sur la nécessité de la table de graduation qu'il a faite pour l'électromètre Thomson dont il s'est servi. Cet électromètre avait été fourni par la maison Elliot, de Londres.

M. Edmond Becquerel résume les recherches antérieures sur la partie infra-rouge du spectre solaire, lesquelles sont fondées sur l'emploi de la pile thermo-électrique, du thermomètre ordinaire, de la photographie, de la phosphorescence.

M. Niaudet présente, au nom de M. Mouchot, un alambic qui peut fonctionner au soleil. Les rayons solaires sont concentrés par un miroir parabolique, sur une chaudière en métal noirci, qu'enveloppe un vase de terre. L'inventeur de ce nouveau moyen de chauffage étudie en ce moment en Algérie l'application en grand de ses appareils.

Sur l'électromètre à quadrants, de M. Thomson; par M. Benoit.

On sait que la théorie de l'électromètre à quadrants, de M. Thomson, conduit à la formule générale suivante :

$$M = k[V(V_1 - V_2) - \tfrac{1}{2}(V_1^2 - V_2^2)],$$

dans laquelle M représente le moment du couple qui fait tourner l'aiguille, V, V_1 et V_2 les potentiels auxquels sont chargés respectivement l'aiguille et chacune des paires de secteurs, et k une constante caractéristique qui définit la sensibilité de l'instrument [1]. Si l'on opère dans des conditions expérimentales telles que V_1 et

---

[1] *Voir* E. Mascart, *Traité d'électricité statique,* t. I, p. 394; Paris, 1876; et J. Clerk Maxwell, *A Treatise on electricity and magnetism,* t, I, p. 272; Oxford, 1873.

V_2 soient égaux en valeur absolue et de signes contraires, le dernier terme s'annule, et l'équation prend la forme très-simple

$$M = kV(V_1 - V_2),$$

c'est-à-dire que le moment M, et, par conséquent, la déviation (puisque la petitesse des angles permet de confondre les fonctions trigonométriques) sont proportionnels au produit $V(V_1 - V_2)$. Or cette proportionnalité théorique est réalisée d'une manière très-inégale par les divers électromètres. M. Mouton, par exemple, s'est servi, pour ses recherches sur l'induction, d'un électromètre dans lequel cette condition n'était pas satisfaite au delà d'une déviation de 1°,5 environ, et pour lequel il a été obligé de construire empiriquement une courbe de graduation par un procédé analogue à celui qu'ont employé MM. de la Provostaye et Desains pour le galvanomètre (1). Dans un appareil du même genre, où les secteurs étaient formés de simples lames planes, MM. Angot et Branly ont trouvé une proportionnalité satisfaisante jusqu'à 3 degrés au moins (2). Mais quand l'électromètre est construit dans de bonnes conditions, on peut dépasser beaucoup les limites précédentes, ce qui permet de mesurer les forces électromotrices ou les différences de potentiel, à l'exemple des électriciens anglais, directement par les indications de l'instrument.

J'emploie depuis longtemps un électromètre de petites dimensions dont la boîte a 4 centimètres de diamètre sur 6 millimètres d'épaisseur. L'aiguille est suspendue par un fil de cocon et dirigée dans un azimut fixe par un petit barreau aimanté collé sur son axe. Cet axe porte en outre un petit miroir, et les déviations sont mesurées, comme de coutume, par les déplacements d'une image lumineuse sur une échelle divisée placée en face de l'appareil. J'ai soumis cet électromètre, dans le but de construire sa courbe de graduation, à un grand nombre d'expériences faites par diverses

---

(1) L. Mouton, *Études expérimentales sur les phénomènes d'induction électrodynamique*, p. 22; Paris, 1876. M. Boltzmann, dans des recherches sur la constante diélectrique des isolants, s'est aussi servi d'un électromètre à quadrants, dont il corrigeait les indications par une table de graduation empirique, mais j'ignore dans quelles conditions et entre quelles limites il opérait. (Mascart, *loc. cit.*, t. I, p. 497, et *Pogg. Ann.*, t. CLI, p. 482 et 531; 1874.)

(2) *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure*, 2e série, t. III, p. 263.

méthodes, et en poussant les déviations jusqu'à des limites très-supérieures à celles entre lesquelles il fonctionne habituellement.

I. Établissant sur les deux paires de secteurs respectivement des potentiels V_1 et V_2, je faisais varier le potentiel V de l'aiguille.

II. Je laissais, au contraire, V constant et faisais varier V_1 et V_2.

Dans les deux cas précédents, si V_1 et V_2 sont égaux et de signes contraires, la théorie donne

$$M = kV(V_1 - V_2),$$

et, comme le moment M est défini, en toute rigueur, par le sinus de la déviation α, on voit que l'instrument, dans les limites où il satisfait à la théorie, doit vérifier la relation

$$\frac{V(V_1 - V_2)}{\sin\alpha} = \frac{1}{k} = K.$$

III. Je mettais l'une des paires de secteurs en communication avec la terre, et portais simultanément l'autre paire et l'aiguille à un même potentiel. Dans ces conditions, V_2 par exemple devient zéro, $V_1 = V$, et la théorie conduit à la relation

$$\frac{V^2}{\sin\alpha} = \frac{2}{k} = 2K.$$

IV. Je mettais en communication avec l'électromètre un condensateur chargé à un certain potentiel, et partageais ensuite la charge entre ce premier condensateur et un second. Les capacités des condensateurs et celles de l'électromètre étant connues, il est facile d'en déduire dans chaque cas les valeurs des potentiels.

Cette méthode, moins exacte que les précédentes, est soumise à une cause d'erreur provenant de la déperdition qui se produit, dans les condensateurs les mieux isolés, pendant la durée des expériences.

Les potentiels étaient empruntés aux pôles de piles ouvertes. J'avais à ma disposition, à cet effet, 250 éléments Marié-Davy, parfaitement montés et isolés. La différence de potentiel était

directement mesurée, dans chaque expérience, en dehors de l'électromètre, par la décharge d'un condensateur étalon au travers d'un galvanomètre Thomson (méthode de Laws); j'ai toujours trouvé, à quelques millièmes près, une exacte proportionnalité entre la tension et le nombre des éléments. Les déviations étaient lues successivement à droite et à gauche du zéro, en intervertissant les communications. L'échelle, divisée en millimètres, était placée à 75 centimètres du miroir. Voici quelques résultats :

Méthode I. $\begin{cases} V_1 = +6, & V_1 - V_2 = 12, \\ V_2 = -6. \end{cases}$

V.	Dév. gauche.	Dév. droite.	Moyenne.	Angle α.	$\frac{V(V_1 - V_2)}{\sin \alpha}$.
				° ′	
20	51,0	51,0	51,00	15. 6,7	7070
40	103,0	102,5	102,75	3.55,2	7050
60	154,5	154,5	154,5	5.49,2	7100
80	207,0	207,0	207,0	7.43,0	7150
100	260,0	265,0	262,5	9.38,7	7160
120	315,0	322,0	318,5	11.30,2	7220
150	395,0	402,0	398,5	13.59,5	7440

Méthode II. $\begin{cases} V_1 = V, \\ V_2 = 0, \end{cases}$

V.	Dév. gauche.	Dév. droite.	Moyenne.	Angle α.	$\frac{V^2}{\sin \alpha}$.
				° ′	
10	10,00	9,5	9,75	0.22,33	15390
20	38,75	38,5	38,62	1.28,5	15540
30	89,00	89,0	89,00	3.23,00	15250
40	156,00	157,0	156,5	5.53,5	15590
50	252,00	250,0	251,00	9.15,2	15550
60	370,00	360,0	365,00	12.58,5	16030
70	525,00	505,0	515,00	17.14,2	16520

Il résulte des expériences précédentes que :

1° Le rapport $\frac{M}{\sin \alpha}$ reste sensiblement constant, ou, en d'autres termes, l'appareil satisfait aux conditions que suppose sa théorie jusqu'à une déviation de 10 degrés environ. Au delà, ce rapport augmente, c'est-à-dire que les déviations, comme il fallait s'y attendre, deviennent trop petites pour que leur sinus puisse représenter la véritable valeur des potentiels.

2° Si l'on construit la courbe de graduation, en prenant pour abscisses les sinus des déviations et pour ordonnées les potentiels V, cette courbe est rectiligne jusqu'à sin 10°, et remonte ensuite en s'infléchissant vers l'axe des y et présentant une concavité supérieure;

3° Si l'on construit la même courbe en prenant pour abscisses les résultats immédiats de l'expérience, c'est-à-dire les déplacements de l'image lumineuse (inscrits dans la quatrième colonne des tableaux précédents), déplacements qui mesurent les tangentes des angles doubles des déviations, on obtient une ligne, d'abord droite, et qui se confond avec la précédente (tout étant supposé ramené à la même échelle), mais qui s'en sépare ensuite pour s'en écarter de plus en plus, et s'infléchir vers l'axe des x en présentant une concavité inférieure;

4° Tant que ces deux lignes sont droites et coïncident, c'est-à-dire jusque vers 5 ou 6 degrés, on peut prendre l'une pour l'autre, et mesurer directement les potentiels par les indications de l'électromètre; au delà de cette limite, ces indications fourniraient des valeurs trop élevées.

La *valeur absolue* des potentiels avec lesquels on construit ces courbes de graduation a-t-elle une influence sur leur forme, ou, en d'autres termes, sur la fonction de la déviation qui représente le produit $V(V_1 - V_2)$? La théorie ne permet pas de le supposer. Voici le tableau d'une expérience faite, par la méthode II, dans des conditions assez différentes des précédentes, l'électromètre étant soumis à l'action d'un puissant barreau aimanté, qui réduisait sa sensibilité dans le rapport de 13 à 1 environ, et permettait, par conséquent, de mettre en présence des potentiels beaucoup plus élevés. La pile qui chargeait les secteurs aux potentiels V_1 et V_2 était mise en communication avec la terre dans chaque cas par *son milieu* [1].

Les résultats concordent exactement avec ceux des expériences précédentes.

---

[1] J'ai vérifié, avec beaucoup d'exactitude, dans la même expérience, les conséquences de la formule générale signalée par M. Mouton (*loc cit.*, p. 27), en mettant cette pile à la terre successivement par son milieu et chacun de ses pôles; mais j'ai jugé inutile de charger ce tableau de résultats étrangers à la question. Une autre conséquence qu'il est facile de vérifier est la suivante : le moment M est nul, et il n'y a pas de déviation toutes les fois qu'on a $V = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$.

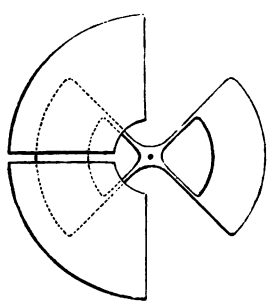
Méthode III. V = 120.

$V_1 - V_2$.	Dév. gauche.	Dév. droite.	Moyenne.	Angle α.	$\frac{V(V_1 - V_2)}{\sin \alpha}$.
				° ′	
20	41,00	40,50	40,75	1.33,2	88500
40	72,25	81,5	81,87	3.6, 7	88500
60	125,00	123,00	124,00	4.41,3	88000
80	168,00	165,00	166,50	6.15,5	88100
100	212,5	207,25	209,87	7.49,0	88200
120	257,00	250,00	253,5	9.20,0	88800

J'ai fait aussi quelques essais, en faisant intervenir des potentiels beaucoup plus élevés, obtenus à l'aide d'une machine statique; mais la difficulté de conserver dans des appareils imparfaitement isolés, des charges qui ne se reproduisent pas constamment, rend les expériences peu concluantes.

La très-grande inégalité des électromètres, constatée par divers observateurs, au point de vue de l'exactitude avec laquelle ils satisfont aux exigences de la théorie, ne tient évidemment qu'aux conditions de construction de chacun d'eux. Une boîte spacieuse et surtout de grande épaisseur est probablement une circonstance défavorable. La forme de l'aiguille a aussi sans aucun doute une grande importance. La figure ci-dessous représente, dans leurs

Fig. 4.



vraies dimensions, l'aiguille et deux des quadrants de mon électromètre. Au lieu d'une forme analogue à celle d'un 8, adoptée dans un grand nombre d'instruments, j'ai reproduit la disposition indiquée par M. Clerk Maxwel (*loc. cit.*, p. 237).

L'aiguille est constituée par deux secteurs plats, découpés dans un même anneau, et réunis l'un à l'autre et à la tige qui les porte

par leurs rayons extrêmes. Il résulte de la grandeur de l'angle au centre, qui est droit, et de la forme exactement circulaire du contour : 1° que, dans la position d'équilibre, le milieu de l'aiguille correspondant à l'intervalle de deux secteurs, ses bords correspondent à leurs milieux, en sorte que les limites des secteurs d'une part et des aiguilles de l'autre sont aussi éloignées que possible; 2° que lorsque l'aiguille se déplace, la portion qui vient se placer entre les secteurs, et sur laquelle agissent presque exclusivement les forces horizontales qui la font tourner, conserve toujours rigoureusement la même figure. La déformation du système total, dans les petites déviations, est ainsi réduite, en quelque sorte, à son minimum. L'instrument se rapproche ainsi autant que possible des conditions exigées par la théorie, qui suppose les positions relatives des conducteurs en présence invariables. Ces détails de construction présentent une certaine importance, car ils permettent de substituer, dans la mesure des quantités physiques, des appareils à indications simples et rationnelles, aux appareils qu'il faut graduer empiriquement.

Sur l'observation de la partie infra-rouge du spectre solaire au moyen des effets de phosphorescence (1); par M. Edmond Becquérel.

On sait que les limites visibles du spectre formé par un faisceau lumineux ne comprennent pas tous les rayons de ce faisceau, et que si au delà du violet, dans la partie qui a reçu le nom d'ultra-violet, se trouvent des rayons dont la longueur d'onde est plus petite que celle des rayons visibles les plus réfrangibles, en deçà du rouge il en existe d'autres dont la longueur d'onde augmente rapidement, à mesure que la réfrangibilité diminue.

On a pu étudier la partie ultra-violette du spectre, ainsi que les raies et bandes qui s'y trouvent, au moyen des actions chimiques, comme je l'ai montré d'abord en 1842 (2), puis comme on l'a fait ensuite à l'aide de diverses méthodes très-précises; mais jusqu'ici

(1) **Mémoire lu à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 24 juillet 1876.**
(2) *Bibliothèque univ. de Genève*, t. XL, 1842.

les recherches très-intéressantes, entreprises sur la partie infra-rouge, n'ont permis de reconnaître que quelques particularités de cette région; les observations exigeaient une intensité assez grande des rayons actifs et par suite une certaine largeur du faisceau lumineux, ainsi que des dimensions très-appréciables des appareils, piles thermo-électriques ou réservoirs thermométriques. Cependant, MM. Fizeau et Foucault (1), en faisant usage de thermomètres dont la capacité avait un très-petit volume, ont indiqué dans un spectre, obtenu au moyen d'un prisme en flint, une large bande obscure dans la partie infra-rouge et à peu près à la même distance de R que la ligne D; M. Fizeau a même donné la longueur d'onde correspondant à cette bande (1445); d'un autre côté, on a observé, à l'aide d'une pile thermo-électrique linéaire, l'existence de plusieurs maxima et minima d'intensité dans cette région spectrale.

Lorsqu'on augmente l'intensité des rayons lumineux, l'effet produit sur la rétine peut dépasser un peu la ligne A, au delà du rouge, et, ainsi que l'ont montré MM. Matthiessen et Brewster, on n'étend pas beaucoup le spectre par ce moyen, et à peine peut-on indiquer quelques lignes noires moins réfrangibles que A.

Les actions chimiques, dans certains cas, peuvent s'étendre aussi en dehors du rouge prismatique, comme cela a lieu avec les composés d'argent préalablement impressionnés (2); mais on ne s'éloigne pas encore beaucoup de l'extrême rouge visible.

Les effets de phosphorescence, sans aller aussi loin que les effets calorifiques, peuvent néanmoins permettre d'obtenir des indications assez curieuses sur la constitution de cette partie de l'image spectrale. J'ai déjà montré (3) comment des rayons, qui n'ont aucune action sur la rétine, peuvent agir sur les matières phosphorescentes pour détruire l'excitation produite sur elles par les rayons bleus ou violets, et permettent d'étudier le spectre, dans cette région, autrement que par les effets calorifiques qui s'y produisent. Il suffit, en effet, de fixer avec un peu de gomme sur une surface, carton ou verre, une substance très-phosphorescente comme

(1) *Comptes rendus*, t. XXV, p. 447; 1847.

(2) Edm. Becquerel, *la Lumière, ses causes et ses effets*, t II, p. 91; *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 302.

(3) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXII, p. 334; *Comptes rendus*, t. LVXVII, p. 302; 1873. Edm. Becquerel, *la Lumière, ses causes et ses effets*, t. I, p. 141.

un sulfure alcalino-terreux impressionnable, pour manifester, après l'impression préalable de la surface à la lumière diffuse, l'extinction que la partie infra-rouge du spectre peut produire en agissant pendant quelques instants. Quand on opère avec un spectre convenablement épuré et étalé, on reconnaît que cette extinction fait apparaître des parties inégalement actives, c'est-à-dire des espaces correspondant à des bandes ou raies noires du spectre solaire; mais cette observation est difficile, même en élevant la température de la surface après l'action du spectre, et l'on n'a que des indications assez vagues sur les positions des bandes les plus fortes. Cependant, avec la plupart des substances impressionnables, on a les mêmes effets, avec une même image prismatique, si le temps d'exposition à la lumière est suffisant.

J'ai pu rendre visible d'une manière continue une partie de cette région infra-rouge qui a échappé jusqu'ici à toute observation oculaire immédiate, en opérant comme il suit : dans le volet de la chambre noire, au moyen de deux fentes verticales faites au volet, on fait pénétrer à l'aide d'un héliostat deux faisceaux de rayons solaires parallèles. L'un des faisceaux, le premier, donne au moyen d'un prisme à arêtes verticales et d'une lentille l'image spectrale que l'on veut étudier; je me suis servi de préférence d'un prisme en sulfure de carbone d'un angle de 60°; ce premier spectre tombe sur la surface enduite de matière phosphorescente. Le second faisceau est reçu sur un prisme en flint blanc, dont l'arête est également verticale et qui est placé près du premier; on peut faire varier la position de ce prisme de façon à superposer la partie ultra-violette du spectre qu'il donne sur la partie infra-rouge du premier spectre et à promener les diverses parties très-réfrangibles de cette seconde image prismatique sur la partie infra-rouge de la première image. On n'interpose pas de lentille sur la route du second faisceau lumineux, et l'on donne à la seconde ouverture du volet une largeur assez grande, afin d'éviter la production des raies ou bandes de l'ultra-violet qui pourraient gêner l'observation que l'on doit faire; le premier spectre doit seul donner les lignes et bandes obscures. On peut même, en avant de la fente qui donne passage au second faisceau lumineux, placer un verre coloré en bleu par le cobalt qui élimine la partie rouge jaune et verte, c'est-à-dire la plus lumineuse du second spectre, et rend plus facile l'observation du phénomène à étudier.

Si l'on projette ce système de deux spectres à régions extrêmes superposés, sur une surface phosphorescente préparée comme il va être dit ci-après, on observe l'effet suivant : dans la partie infra-rouge du spectre à bandes, la matière impressionnable excitée par l'ultra-violet du deuxième spectre a sa phosphorescence détruite, mais inégalement ; et sur une certaine étendue correspondant à la partie infra-rouge, on a l'apparence de parties inégalement éclairées ; cet effet est très-curieux, qui rend visible d'une manière continue une certaine portion de la partie infra-rouge, ne se produit pas dans toutes les circonstances et avec tous les corps impressionnables ; en voici le motif :

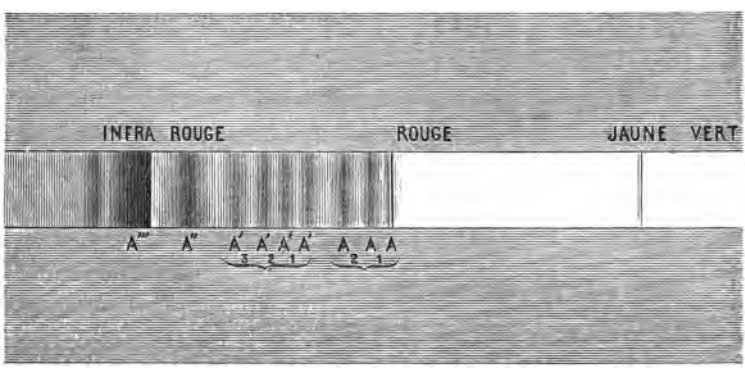
D'abord cette extinction des corps phosphorescents, dont je me suis souvent occupé, exige, ainsi que je l'ai fait voir, un certain temps pour se produire, et il faut que la matière phosphorescente commence à devenir lumineuse, puis s'éteigne, et qu'il s'établisse une sorte d'équilibre la laissant par place dans un certain état d'obscurité. Cet effet indique qu'il y a à régler une question d'intensité entre les parties inversement actives des spectres, ce que l'on fait en déplaçant le deuxième spectre et en faisant varier la largeur de la seconde fente du volet. D'un autre côté, tous les corps phosphorescents ne peuvent manifester immédiatement cet effet ; si la substance ne conserve que pendant peu de temps l'impression lumineuse, on ne peut rien observer : tel est le cas du spath fluor, de la chaux carbonatée, des composés d'uranium, des platinocyanures et de certaines substances organiques. Si la matière conserve pendant très-longtemps une assez grande intensité lumineuse, c'est-à-dire a une très-grande capacité pour la lumière, alors la partie infra-rouge du premier spectre n'arrive pas à rendre suffisamment obscure par places la région éclairée par l'ultra-violet du second spectre, et cette région reste toujours sensiblement illuminée de la même manière. Tel est le cas des sulfures de calcium, de baryum et de strontium plus ou moins phosphorescents ; ces composés peuvent bien manifester des effets, mais autrement et, ainsi qu'on l'a dit plus haut, l'action des rayons différemment réfrangibles étant successive et non simultanée.

Mais il y a un composé phosphorescent qui se trouve dans des conditions très-favorables pour permettre l'observation du phénomène dont il s'agit, c'est la blende hexagonale, due à M. H. Sainte-

Claire Deville, et obtenue phosphorescente, il y a plusieurs années, par M. Sidot, substance qui est vivement lumineuse, mais qui présente un décroissement d'effet plus rapide que les sulfures alcalino-terreux, mais moins que la chaux carbonatée. Je dois même ajouter que les différents échantillons que j'ai essayés ne sont pas également propres à bien manifester les bandes de l'infra-rouge ; celui qui m'a le mieux réussi était un échantillon moyennement lumineux, mais dont l'extinction de phosphorescence était plus rapide que celle produite par d'autres qui étaient plus vivement phosphorescents.

Voici ce que j'ai pu observer au moyen de cet échantillon : la partie active de l'infra-rouge comprend au delà de A un espace un peu plus étendu que celui compris entre la ligne A et la ligne D, et au delà duquel les effets ne peuvent plus être observés. Avec le

Fig. 1.



prisme en sulfure de carbone et une lentille en crown, on a, après A, deux bandes ou lignes qui paraissent aussi fortes que A, et que j'ai appelées A_1 et A_2 ; ensuite on arrive à un groupe de quatre bandes ou lignes, que je distingue sous la dénomination de groupe (A', A'_1, A'_2, A'_3), dont les trois premières sont à peu près équidistantes et la quatrième, la moins réfrangible, plus éloignée ; au delà, en A'', doit se trouver une large bande assez diffuse et en A''', près de la limite où l'observation est possible, se trouve une large bande à bords définis, surtout du côté le plus réfrangible. Cette bande A''' se trouve à peu près à la même distance de A que celle qui sépare

A de D, et paraît être la même que celle observée par MM. Fizeau et Foucault en 1847, au moyen des effets calorifiques produits sur des thermomètres à très-petite capacité. Au delà de A‴ il y a apparence d'une ou deux autres bandes quand le spectre est très-intense, mais qui sont très-difficiles à distinguer.

Il faut remarquer que l'expérience donne des effets lumineux contraires à ceux que je décris , car les parties qui correspondent à des raies ou bandes d'absorption, étant éclairées par les rayons ultra-violets du second spectre, sont des parties lumineuses pendant l'observation, tandis que là où il n'y a pas d'absorption, l'action de ces rayons étant détruite, il y a obscurité; on a donc une image négative de la disposition des bandes d'absorption, qu'il faut restituer dans son véritable sens pour l'interpréter comme je l'ai fait ci-dessus.

Un des effets les plus caractéristiques de ces observations est la vivacité de la partie active de l'infra-rouge comprise entre A″ et A‴, et qui est plus grande qu'avant et après ces limites. Cet effet se traduit, d'après ce qui vient d'être dit, par un espace relativement plus obscur que les parties voisines au moment de l'action simultanée des spectres à parties extrêmes superposées. L'apparition de cette bande obscure, correspondant à une partie très-active de l'infra-rouge, se remarque immédiatement avec la plupart des substances étudiées et apparaît même quand les autres maxima et minima d'action ne sont pas appréciables. On la retrouve également avec les sulfures alcalino-terreux, mais en opérant autrement et, comme je le faisais antérieurement, en faisant agir l'infra-rouge seul sur la surface, après l'action excitatrice de la lumière diffuse.

J'ai fait usage d'un prisme et d'une lentille en sel gemme, ainsi que d'un prisme et d'une lentille en spath-fluor, et j'ai observé cette même partie très-active A″ A‴; mais la pureté de ces substances étant moindre que celle du verre et du sulfure de carbone, je n'ai pu reconnaître les autres maxima et minima d'action. L'apparition de cette même bande active montre que le phénomène ne dépend pas de la nature de la matière impressionnable ni de celle du prisme, mais bien de la constitution de l'agent lumineux; avec ces différents prismes, les limites de l'espace actif ont paru être les mêmes. Une remarque assez curieuse, c'est que la lumière Drummond, étudiée de la même manière, a présenté une partie très-ac-

tive dans l'infra-rouge, correspondant à cette région A″ A‴, et de même pour la lumière solaire.

Le bord le plus réfrangible de la bande obscure A‴ est assez bien limité pour permettre d'en déduire approximativement sa position angulaire par rapport à celle des raies du spectre lumineux B, D et F, et, par conséquent, l'indice de réfraction correspondant. Quant aux autres lignes, sauf celles qui sont près de A, même dans les spectres très-étalés, elles ont des bords assez mal définis.

L'évaluation de la longueur d'onde des rayons de cette région est assez délicate à faire; les spectres des réseaux n'ayant pas offert une intensité assez grande, je me suis servi de la position des bandes d'interférence obtenues en faisant réfléchir le faisceau solaire, avant son passage au travers de l'ouverture rectiligne du volet, sur un appareil donnant les anneaux colorés des lames minces d'air, et par un procédé analogue à celui de MM. Fizeau et Foucault. Quand la lumière est très-vive et le spectre peu étalé, on a une série de bandes de G à A‴ qui, pour être observées, peuvent être au nombre de dix ou douze, et dont les positions sont alors faciles à fixer. En admettant que dans la partie infra-rouge elles se continuent d'après la même loi que dans la partie lumineuse, là où les longueurs d'onde sont connues, on a eu, d'après plusieurs expériences et avec un prisme en sulfure de carbone :

	Parties du spectre.	Indice de réfraction.	Longueur d'onde en millionièmes de millimètre.	
Infra-rouge	A‴ bord le plus réfrangible.	»	1310	
	A‴ milieu.....	»	1265?	
	A‴ bord le plus réfrangible (1)	1,5877	1220	
	A′.....	1,5992	840	
Spectre lumineux.	A.....	1,6051	761,5	longueurs d'onde supposées connues.
	B.....	1,6114	687,3	
	D.....	1,6240	589,2	

la bande A‴ serait aussi comprise entre les longueurs d'onde 1200 et 1300.

(1) Ou bord le moins réfrangible de la partie active très-caractéristique A″ A‴.

Si l'on calcule les longueurs d'onde de A′ et de A‴, d'après la formule de Cauchy, dans laquelle l'indice n est donné par une expression de la forme $a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$, λ étant la longueur d'onde et a, b, c des constantes déduites des observations correspondant à A, B et D, on arrive à des nombres plus élevés que les valeurs précédentes. Du reste, ces déterminations expérimentales ne sont qu'approximatives et sont à reprendre, et je n'ai donné ici que les premières observations faites au moyen de cette méthode.

On voit donc que l'on peut suivre, par vision directe, quelques-uns des effets produits dans la région infra-rouge du spectre. On ne peut observer ainsi que quelques bandes d'absorption un peu larges qui se trouvent dans cette région, et encore est-il nécessaire d'avoir une très-grande intensité lumineuse pour cela. Il est probable que beaucoup de bandes et de lignes plus étroites échappent à ce moyen d'observation; car les bords des images ne sont pas bien arrêtés, sauf ceux de la partie A″A‴, et cet effet doit être attribué à une illumination latérale par diffusion, laquelle peut impressionner les parties voisines des points directement influencés par les rayons du spectre.

D'un autre côté, les observations ne s'étendent guère beaucoup au delà de A‴ et ne comprennent pas toute l'étendue de l'espace où les phénomènes calorifiques peuvent être observés; cela peut dépendre des limites entre lesquelles les effets de phosphorescence sont appréciables et qui peuvent ne pas être les mêmes que celles du spectre calorifique. Néanmoins ce nouveau mode d'observation permet de faire quelques remarques intéressantes : ainsi, par exemple, le verre et plusieurs corps solides ne font subir que peu de changement à l'image que l'on observe; mais un écran d'eau distillée, qui ne change que peu l'action de la partie AA′, diminue l'intensité de la région très-active qui touche à A‴.

J'ai essayé de former un oculaire de spectroscope qui permît d'observer la partie infra-rouge de l'image spectrale, comme on peut le faire pour la partie ultra-violette au moyen du sulfate de quinine; mais la grande intensité nécessaire à l'observation des effets dont il s'agit et le peu de netteté des bords des bandes d'absorption ne m'ont donné jusqu'ici aucun résultat bien satisfaisant : c'est une question que j'étudie actuellement.

SÉANCE DU 2 MARS 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 février est lu et adopte.

Le Secrétaire donne lecture du compte rendu de la commission des comptes ; les conclusions mises aux voix sont adoptées.

M. Cornu donne à la Société son *Mémoire sur la détermination de la vitesse de la lumière :* il signale quelques-unes des difficultés que ce travail a présentées et qu'il a vaincues.

M. le Dr Javal présente un optomètre de son invention, dont il se sert depuis douze ans pour mesurer l'astigmatisme.

Au cours de son exposition, M. Javal a donné de nombreux détails sur les symptômes qui accompagnent l'astigmatisme et sur la fréquence de cette affection ; il en résulte que ce défaut visuel serait extrêmement commun et qu'il y aurait lieu de le rechercher chez toutes les personnes qui se plaignent d'une fatigue de la vue à laquelle les verres sphériques n'auraient pas porté remède.

M. Javal termine sa communication par un aperçu sur la possibilité de corriger des défauts visuels plus compliqués que l'astigmatisme ; il fait appel aux membres de la Société qui remarqueraient, sur eux-mêmes, des aberrations remarquables de la vision : il mettrait avec plaisir ses verres coniques à leur disposition pour étudier ces anomalies dont l'existence est à peine signalée par les auteurs et qu'il ne serait peut-être pas impossible de corriger.

M. Bertin rend compte en quelques mots de la méthode employée dans les expériences qu'il a faites en collaboration avec M. Garbe dans le but de montrer que les forces qui agissent dans le radiomètre sont intérieures.

Sur les applications d'un appareil nouveau, destiné à déterminer l'astigmatisme visuel; par M. Javal.

1. *En quoi consiste l'astigmatisme.* — L'œil est un instrument d'optique des plus imparfaits; il n'est jamais achromatique, il n'est généralement pas aplanétique; de plus, il est rare que, dans l'état de repos de l'accommodation, les rayons parallèles viennent former leur foyer sur la rétine; quand ce foyer se forme en avant de la rétine, il y a myopie; quand il se forme derrière cet écran sensible, il y a hypermétropie.

Parmi les défauts que je viens de signaler, les premiers n'entraînent pas de grands troubles visuels et l'on n'a pas encore essayé de les corriger; les derniers trouvent, au contraire, un remède bien connu dans l'emploi des verres concaves ou convexes, suivant le cas.

Le défaut de structure de l'œil que je me suis occupé d'étudier est celui auquel le physicien anglais Whewell a donné le nom, bien approprié, d'*astigmatisme*. C'est une *aberration monochromatique* dont le siége réside tantôt dans la cornée, tantôt dans le cristallin, le plus souvent à la fois dans ces deux milieux réfringents.

Un œil affecté d'astigmatisme ne voit pas également bien les lignes tracées dans diverses directions.

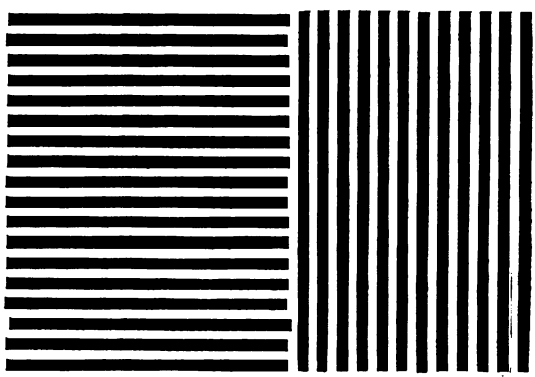
Prenons pour objet des lignes droites, dont nous multiplierons le nombre, pour rendre le phénomène plus saillant par sa répétition.

On épingle sur un tableau (*fig.* 1) une feuille sur laquelle sont tracées des lignes horizontales et verticales avec la même épaisseur de trait et le même espacement. Si l'on a affaire à une assemblée nombreuse, il n'y a que bien peu de personnes auxquelles les deux espèces de lignes paraissent identiques : les unes distinguent mieux les horizontales; les autres, un peu plus nombreuses, distinguent mieux les verticales. Bien entendu, si l'on retourne la feuille de 90°, les mêmes personnes distingueront mieux les lignes qu'elles voyaient d'abord plus mal et *vice versâ*.

Les personnes, très-peu nombreuses, qui voient également bien les verticales et les horizontales, ne peuvent même pas se vanter d'être toutes absolument exemptes d'astigmatisme. A plusieurs, les

lignes paraissent égales parce que les unes et les autres sont mal vues, par suite d'une forte myopie ou d'une hypermétropie notable. Chez d'autres, les méridiens de plus grande réfraction sont situés à 45° de la verticale et il suffit d'incliner la figure pour que leur astigmatisme apparaisse. Enfin, chez quelques-unes l'astigmatisme de l'un des yeux compense celui de l'autre, de telle sorte qu'en

Fig. 1.



faisant l'épreuve alternativement avec l'un et l'autre œil, ce seront tour à tour les verticales et les horizontales qui leur apparaîtront avec la plus grande netteté.

Une autre expérience consiste à fermer d'abord un œil pour regarder le tableau, et à changer d'œil ensuite. La plupart des observateurs remarqueront entre les deux groupes de lignes une différence bien plus grande dans la seconde épreuve ; cela tient à ce que, lorqu'on ferme un œil, par un effet d'habitude, on ferme le moins bon, et quand on ferme ensuite le meilleur des deux, on remarque plus facilement les effets de l'astigmatisme.

Cette simple expérience prouve qu'en général c'est l'astigmatisme qui détermine la qualité de nos yeux ; le plus astigmate de nos yeux est presque toujours, par là même, le moins bon.

Il faut savoir que des yeux parfaitement sains et bien constitués peuvent supporter une quantité de travail vraiment colossal ; une soirée passée au théâtre, après une journée entière consacrée à la lecture des textes les plus fins, ou aux travaux d'aiguille les plus délicats, tel est le régime que peuvent supporter indéfiniment des

yeux parfaitement construits, ou parfaitement corrigés par des verres.

Dans mon opinion, la plupart des personnes qui se plaignent de voir imparfaitement ou qui croient avoir des yeux sensibles, une grande partie de celles qui souffrent de conjonctivites fréquentes, celles qui, en un mot, ne trouvent pas de soulagement dans l'emploi des lunettes ordinaires et chez qui l'observation ophthalmoscopique ne révèle pourtant aucune maladie des membranes et des milieux de l'œil, ont de grandes chances de trouver un remède à leurs ennuis dans la correction de l'astigmatisme dont elles sont atteintes.

Or, si le nombre des personnes qui portent des verres cylindriques est infiniment petit, par rapport à ce qu'il devrait être, c'est en grande partie parce que les oculistes, rebutés par la difficulté théorique et pratique des moyens de mensuration généralement employés, n'entreprennent la recherche de l'astigmatisme qu'à leur corps défendant. On comprend donc l'intérêt qui s'attache à un procédé permettant de mesurer rapidement l'astigmatisme.

2. *Correction de l'astigmatisme.* — Je ne m'occuperai que de l'astigmatisme régulier, celui d'un œil dont la réfraction est assimilable à celle d'un ellipsoïde à trois axes inégaux; et je commencerai par démontrer que, *si l'astigmatisme régulier est celui produit par un ellipsoïde, on peut également le définir comme étant celui corrigé par un verre cylindrique.*

Considérons l'ellipsoïde

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1$$

et le cylindre

$$x^2+z^2=r^2.$$

Le plan des xy coupe l'ellipsoïde suivant une ellipse dont le rayon de courbure, au sommet situé sur l'axe des x, est $\frac{b^2}{a}$, et le cylindre suivant une de ses génératrices. Les rayons incidents parallèles à l'axe des x contenus dans le plan des xy, et tombant sur le système formé par le cylindre et l'ellipsoïde, dans le voisinage de l'axe des x, iront former leur foyer en un point déterminé de cet axe; et si le cylindre corrige l'astigmatisme produit par l'ellipsoïde,

ce foyer devra appartenir aussi aux rayons incidents voisins de l'axe des x, et situés dans un azimut quelconque.

Je coupe ces deux surfaces par un plan passant par l'axe des x; ce plan coupe l'ellipsoïde suivant une ellipse dont les axes sont a et d, et le cylindre suivant une autre ellipse dont les axes sont r et l. Les rayons de courbure de ces deux ellipses, aux points où elles sont coupées par l'axe des x, sont $\frac{d^2}{a}$ et $\frac{l^2}{r}$, et l'ensemble des deux courbures doit être équivalent à la courbure $\frac{b^2}{a}$ appartenant à l'ellipsoïde dans le plan des xy. On sait que la distance focale f d'une lentille biconvexe, dont les rayons de courbure sont R et R′ en valeur absolue et dont l'indice est n, est donnée par la formule

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

Dans le plan des xy, le rayon de courbure du cylindre est infini, et l'on a

$$\frac{1}{R} = \frac{a}{b^2}, \quad \frac{1}{R'} = 0;$$

dans le plan sécant on a

$$\frac{1}{R} = \frac{a}{d^2}, \quad \frac{1}{R'} = \frac{r}{l^2};$$

il faut donc que l'on ait

$$(1) \qquad \frac{a}{d^2} + \frac{r}{l^2} = \frac{a}{b^2}.$$

Voyons s'il est possible de déterminer r, de manière à satisfaire à cette équation (1).

Soit $z = my$ l'équation du plan sécant; on trouve aisément

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{1+m^2}\left(\frac{1}{b^2} + \frac{m^2}{c^2}\right),$$

$$\frac{1}{l^2} = \frac{m^2}{1+m^2}\,\frac{1}{r^2};$$

d'ailleurs, puisque le cylindre doit corriger l'astigmatisme de

l'ellipsoïde, on a en particulier le plan des zx,

$$\frac{a}{c^2}+\frac{1}{r}=\frac{a}{b^2} \quad \text{ou} \quad r=\frac{b^2c^2}{a(c^2-b^2)}.$$

En introduisant les valeurs de $\frac{1}{d^2}$, $\frac{1}{l^2}$ et r dans l'équation (1), il vient

$$\frac{a}{d^2}+\frac{r}{l^2}=\frac{a}{1+m^2}\,\frac{c^2+b^2m^2}{b^2c^2}+\frac{am^2}{1+m^2}\,\frac{c^2-b^2}{b^2c^2}$$
$$=\frac{a(c^2+b^2m^2+c^2m^2-b^2m^2)}{(1+m^2)b^2c^2}=\frac{a}{b^2};$$

l'équation est vérifiée.

D'ailleurs, les verres cylindriques ne constituent pas le seul moyen de corriger l'astigmatisme; une surface de tore, combinée avec une surface sphérique, permet également d'obtenir une correction satisfaisante. Quand l'astigmatisme est accompagné de myopie ou de presbytie, on voit souvent les personnes qui en sont affectées donner à leurs lunettes une position oblique, grâce à laquelle les verres sphériques peuvent eux-mêmes procurer une correction plus ou moins complète du défaut qui nous occupe.

Dans certains cas, l'astigmatisme peut se corriger en appliquant un doigt sur la tempe, près de la commissure externe des paupières, et tirant la peau de manière à exercer, par l'intermédiaire des paupières, une pression sur certaines parties du globe oculaire; j'ai vu des sujets, qui avaient découvert d'eux-mêmes cette petite manœuvre, obtenir ainsi une correction vraiment surprenante, au point de quadrupler leur acuïté visuelle.

D'autres, enfin, ont découvert un point de leur œil sur lequel il leur suffit d'exercer une pression, avec le bout de l'index, pour modifier très-notablement la courbure de leur cornée et obtenir une amélioration sensible de la vue.

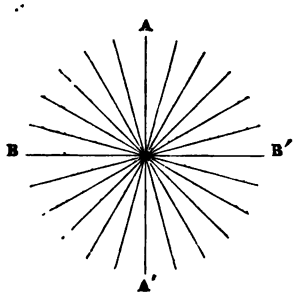
Sauf les verres à surface de tore, qui présentent l'avantage d'être périscopiques, ce qui pourrait en faire adopter l'emploi dans certains cas exceptionnels, le seul correctif convenable de l'astigmatisme reste toujours le verre cylindrique, et tous nos efforts doivent tendre à généraliser l'emploi de ce verre, qui devrait être adopté par plus d'un million de personnes en France.

Mesure de l'astigmatisme. — Ce n'est point ici le lieu de décrire tous les moyens qui ont été proposés pour cette mesure; je me bornerai à décrire l'appareil que j'ai construit dans ce but.

Je rappellerai d'abord les termes dont je me servais en 1865 pour indiquer le principe de mon optomètre.

« 1° *Détermination monoculaire.* — Tracez un cercle, dans ce cercle des rayons espacés de 15 en 15°, et faites regarder cette figure au malade au travers d'une lentille sphérique convexe, que je supposerai de 3 pouces de foyer, pour fixer les idées. Éloignez peu à peu la figure jusqu'à ce que toutes les lignes pâlissent ou disparaissent, sauf une. Essayez alors successivement, en commençant par le plus faible, tous vos verres cylindriques concaves, en mettant les axes perpendiculairement au rayon resté noir, et cela jusqu'au verre qui rend tous ces rayons également noirs. Vous aurez ainsi, d'un seul coup, diagnostiqué l'astigmatisme et déterminé le numéro et la position du verre correcteur... ».

Fig. 2.



Pour toute personne jouissant de la vision binoculaire, on emploiera, avec beaucoup plus d'avantage, le procédé qui suit :

» 2° *Détermination binoculaire.* — Ajoutons maintenant, devant l'autre œil, une lentille et un cercle identiques aux précédents, les cercles étant d'abord aux foyers des lentilles et l'écartement des centres étant égal à celui des yeux. On ne peut fusionner les cercles qu'à la condition de tenir les axes optiques parallèles et la tête droite. La fixité de la position relative des axes optiques immobilise suffisamment l'accommodation..... »

Depuis douze ans je me sers journellement d'un appareil construit d'après les principes que je viens d'indiquer. Pendant cette

longue période d'années, j'ai noté les *desiderata* de cet appareil, et dans l'instrument actuel, l'opticien, M. Roulot, a réalisé les modifications de détail que l'expérience m'a suggérées.

Deux disques verticaux, mobiles autour d'un même axe horizontal, portent chacun une série de verres.

Le premier est garni de verres cylindriques sertis dans des bonnettes dentées sur leur pourtour, de telle sorte qu'une grande roue dentée permet d'imprimer simultanément à toutes les bonnettes un mouvement de rotation. Il en résulte que, lorsqu'on a déterminé l'orientation de l'astigmatisme, la rotation du disque amène devant l'œil la série de verres cylindriques sous l'orientation voulue.

Le second disque porte une série de verres sphériques ; aussi la rotation de ce disque permet-elle de corriger la myopie et l'hypermétropie.

En prenant pour objet des caractères d'impression fixés au mur le plus éloigné de la salle, ce système de disques permettrait déjà de mesurer la réfraction de l'œil avec une assez grande exactitude.

Mais il est préférable de se servir de la figure étoilée décrite plus haut, placée dans le stéréoscope joint à l'appareil. On obtient ainsi une précision plus grande de l'angle, car la vision binoculaire ne peut se produire que si les deux yeux sont exactement dans le même plan horizontal. De plus, point tout à fait capital, la fusion binoculaire des deux images, en déterminant la position des lignes visuelles, a pour effet d'empêcher les brusques variations de l'accommodation, ce qui dispense complétement de l'emploi si désagréable du sulfate d'atropine.

Sur la cause du mouvement dans le radiomètre ;
par MM. Bertin et Garbe.

On a longtemps discuté la question de savoir si les ailettes du radiomètre tournaient sous l'action propulsive directe de la source calorifique ou lumineuse, ou bien si le mouvement était dû à l'air renfermé dans l'appareil. On a vu, dans le *Journal de Physique*, que M. Schuster a, le premier, fait cette remarque importante, que,

si la cause du mouvement était intérieure, le vase supposé libre devait tourner en sens contraire du moulinet, ce qu'il a en effet constaté. Mais, des expériences de M. Crookes étant venues jeter l'incertitude sur ce résultat, nous avons, M. Bertin et moi, entrepris de nouvelles expériences à ce sujet.

On sait que, lorsqu'un système est soumis à l'action de forces intérieures seulement, la somme des moments des quantités de mouvement de différents points par rapport à un axe quelconque est constante. Dans le cas qui nous occupe, le système se réduit à deux corps, le moulinet et le vase ; et, si l'on suppose ce dernier capable de tourner autour du même axe que le moulinet, l'équation du mouvement sera, en désignant par ω et ω' les vitesses angulaires simultanées du vase et des ailettes à un instant quelconque,

$$\omega \Sigma mr^2 + \omega' \Sigma mr'^2 = K \quad \text{ou} \quad I\omega + I'\omega' = K,$$

I et I′ étant les moments d'inertie du vase et du moulinet, par rapport à l'axe commun de rotation.

La constante K est déterminée en fonction de deux vitesses angulaires correspondantes ω_1 et ω'_1,

$$I(\omega - \omega_1) + I'(\omega' - \omega'_1) = 0.$$

On peut déduire de cette formule générale plusieurs conséquences, que l'expérience devra vérifier :

I. Si le vase supposé libre et le moulinet partent du repos, on a

$$\omega_1 = \omega'_1 = 0,$$
$$I\omega + I'\omega' = 0.$$

Dans ce cas, le vase et le moulinet doivent constamment tourner en sens inverse l'un de l'autre, et de telle sorte que le rapport des vitesses angulaires soit égal au rapport inverse des moments d'inertie.

II. Supposons qu'on abandonne le vase seulement lorsque les ailettes possèdent une vitesse ω'_1, l'équation devient

$$I\omega + I'(\omega' - \omega'_1) = 0.$$

Donc, dans la suite du mouvement, toutes les fois que le mou-

linet aura une vitesse supérieure à ω'_1, le vase tournera en sens contraire des ailettes; si cette vitesse diminue et devient ω'_1, le vase doit s'arrêter, et enfin il devra tourner dans le sens des ailettes, pour toute vitesse du moulinet inférieure à ω'_1.

III. Si, par un moyen quelconque, le vase et le moulinet sont rendus solidaires, par exemple en retournant l'appareil comme l'a fait M. Righi et comme nous l'avons fait également,

$$(I + I')\omega = 0,$$

c'est-à-dire que le système entier doit rester immobile, quelle que soit l'intensité de la source.

Nous avons vérifié par l'expérience ces conséquences de la formule; mais nous nous sommes attaché spécialement à la première, qui donne lieu à des vérifications précises.

Pour déterminer le rapport $\frac{I}{I'}$ des moments d'inertie, il suffisait de faire osciller à l'extrémité d'un même fil de métal le moulinet d'abord, et ensuite l'appareil tout entier. Soient t' et t les durées d'oscillation; on a la relation

$$\frac{I + I'}{I'} = \frac{t^2}{t'^2},$$

$$\frac{I}{I'} = \frac{t^2 - t'^2}{t'^2}.$$

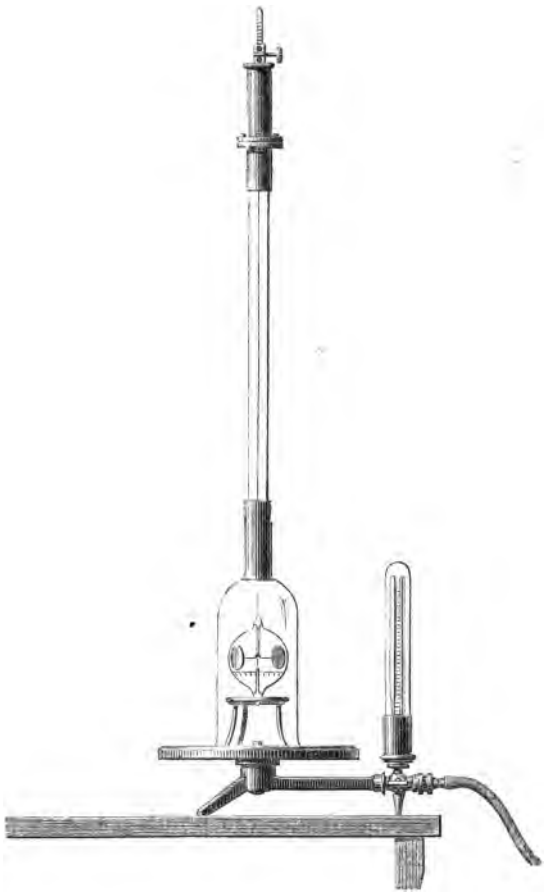
En faisant varier convenablement le poids du moulinet, nous avons obtenu trois radiomètres pour lesquels le rapport $\frac{I}{I'}$ était égal à 17, 45, 77.

On graduait ensuite le vase en 24 ou 36 divisions équidistantes suivant un petit cercle situé au-dessus des ailettes, et il ne restait plus à faire que l'observation des vitesses.

Le radiomètre fut d'abord suspendu dans une balance de Coulomb, par un cheveu très-fin de 30^{cm} de longueur environ. Une tige à crémaillère passant dans l'ouverture du plateau de la cage portait à sa partie inférieure un anneau, muni de trois pointes équidistantes, sur lesquelles le vase était soulevé lorsqu'on voulait arrêter son mouvement, pour lui faire reprendre sa position d'é-

quilibre. Avec cet appareil, nous avons toujours vu le vase partir en sens inverse du moulinet et faire plusieurs tours sans s'arrêter; nous avons vérifié la conséquence II de la formule et la conséquence III lorsque nous suspendions le radiomètre la tête en bas. Mais le rapport des vitesses s'est trouvé notablement plus grand que le rapport inverse des moments d'inertie.

Fig. 1.



Cette divergence tenait à deux causes : d'abord la torsion du cheveu, quelque faible qu'elle fût, et la résistance de l'air de la cage pouvaient gêner la rotation du vase. En outre, la méthode

d'observation était défectueuse; nous attendions que le moulinet et le vase eussent pris un mouvement uniforme pour noter leurs vitesses respectives; mais pour cela le vase avait dû tourner d'un angle considérable, et la torsion du cheveu se faisait sentir et ralentissait sa vitesse.

Nous avons fait construire alors un appareil dans lequel on pouvait faire le vide (*fig.* 1), et dont le fil de suspension avait 60^{c} de longueur. C'était un fil de cocon de deux ou trois brins auquel le radiomètre était fixé par une goutte de mastic, et qu'une tige à crémaillère, passant dans une boîte à cuir, permettait d'élever ou d'abaisser à volonté.

La source dont nous nous servions était une lampe Drummond, qu'on approchait ou qu'on éloignait pour augmenter ou diminuer la vitesse de rotation du moulinet. Le mouvement du vase était ordinairement observé à la lunette; dans quelques expériences cependant nous projetions l'image du radiomètre sur un écran, sur lequel était tracée une ligne de repère. C'est cette dernière disposition que nous avons employée à la Société de Physique pour montrer la rotation du vase. Dans l'un et l'autre cas, on pointait sur un compteur le passage des divisions du vase, soit au réticule, soit au repère.

Au lieu d'attendre que le moulinet et le vase eussent pris leur mouvement uniforme, nous avons préféré, pour le motif indiqué précédemment, observer le phénomène pendant la période de vitesse variable du commencement, en ayant soin toutefois de ne comparer les vitesses que dans le même intervalle de temps. Pour cela, les deux compteurs partaient ensemble du moment où l'on faisait tomber la lumière sur le radiomètre; les ailettes et le vase se mettaient en mouvement en sens contraire, et lorsque plusieurs divisions du vase avaient passé sous le fil de la lunette, nous commencions à pointer, l'un le passage des divisions, l'autre le passage d'une ailette du moulinet observé directement. Un calcul simple permettait de déduire de ces pointages le rapport des vitesses moyennes, pendant l'intervalle de temps considéré.

C'est ainsi que nous avons obtenu pour rapport des vitesses les nombres 17,4, 47, 82, qui s'éloignent peu des rapports inverses des moments d'inertie.

SÉANCE DU 16 MARS 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Garbe, préparateur agrégé à l'École Normale; de Laforest, lieutenant-colonel du 33e de ligne; Perroux, préparateur de physique au lycée Fontanes; de Waha, professeur à Luxembourg (Grand-Duché).

M. Gouy rend compte des expériences qu'il a faites sur les flammes produites par un mélange d'air et de gaz d'éclairage, tenant en suspension des sels métalliques pulvérisés. Les sels dissous dans l'eau étaient aspirés par un pulvérisateur fonctionnant avec de l'air comprimé à $\frac{1}{2}$ atmosphère. Dans ces flammes, la surface bleue du cône intérieur, qui donne le spectre du carbone, donne aussi des raies propres au sel que contient la flamme; ces raies ne sont pas visibles en dehors de cette partie, et elles coïncident avec les raies principales du métal dans l'étincelle électrique. Les métaux suivants : sodium, strontium, magnésium, lithium, manganèse, fer, cobalt, bismuth, cadmium, zinc, osmium, montrent nettement ce phénomène. Le platine donne un spectre spécial, formé de bandes régulières. On doit conclure de ces expériences qu'il existe à la base de la flamme une couche très-mince qui possède une température beaucoup plus élevée que la flamme proprement dite.

M. Cornu indique les principales difficultés pratiques qu'on rencontre dans la détermination précise des éléments principaux des systèmes optiques et montre comment on peut les lever de manière à rendre cette détermination courte et facile.

M. Cornu applique, devant la Société, cet appareil à l'observation et à la mesure des phénomènes de foyers que présentent certains réseaux, ainsi qu'à la détermination des éléments principaux d'un objectif double de photographie.

Recherches sur les spectres des métaux à la base des flammes;
par M. Gouy.

On sait qu'une flamme produite par un mélange de gaz d'éclairage et d'air, en proportions convenables pour brûler sans le secours de l'air extérieur, a pour base un cône intérieur, à la surface duquel commence la combustion. Cette surface est brillante, de couleur bleue ou verte, et donne le spectre du carbone. Les expériences que je vais rapporter montrent que cette même surface donne un spectre très-différent de celui de la flamme dont elle forme la base, quand le mélange combustible tient en suspension des poussières salines.

Les solutions salines sont pulvérisées par un jet d'air comprimé; l'air chargé de poussière se rend dans un régulateur où arrive aussi le gaz d'éclairage et d'où sort un mélange de composition constante. Ce mélange arrive dans un tube vertical, de 19 millimètres de diamètre, coiffé d'une toile de fil de fer au-dessus de laquelle il brûle en donnant une flamme conique, de 6 à 8 centimètres. La hauteur du cône intérieur varie de 3 ou 4 centimètres à zéro, et la flamme peut être rendue oxydante ou réductrice.

Au moyen d'une lentille on projette sur la fente du spectroscope l'image de la flamme. On voit alors deux spectres l'un au-dessus de l'autre : l'inférieur est produit par la lumière de la surface bleue, et toutes les raies qui le composent s'arrêtent exactement à la même hauteur; l'autre est produit par la flamme proprement dite, et les raies qui lui sont propres empiètent sur le spectre inférieur, en raison de la forme de cette flamme.

Quand l'appareil marche à vide, le spectre inférieur donne brillamment les raies du carbone. Si l'on pulvérise une solution de chlorure de lithium, voici ce qu'on observe : le spectre supérieur montre une raie rouge très-vive et une raie faible dans l'orangé. La première paraît également brillante sur toute sa hauteur; l'autre, au point même où elle pénètre dans le spectre inférieur, devient bien plus vive. En outre, le spectre inférieur montre nettement une raie bleue (γ du spectre électrique), qui se termine à la même hauteur que les raies du carbone et manque dans le spectre supérieur.

Détermination expérimentale des éléments principaux d'un système optique; par M. A. Cornu.

La détermination des éléments principaux d'un système optique ne présente théoriquement aucune difficulté : au point de vue pratique, il n'en est pas de même lorsqu'on veut opérer avec précision; on se trouve la plupart du temps en présence de cas particuliers, dans lesquels les règles ordinaires ne s'appliquent plus ou du moins présentent dans leur application des circonstances inadmissibles.

Ayant rencontré un certain nombre de ces difficultés, à l'occasion de recherches diverses, je me suis attaché à les résoudre le plus simplement qu'il m'a été possible de le faire.

I. — *Détermination des éléments principaux d'un objectif composé quelconque.*

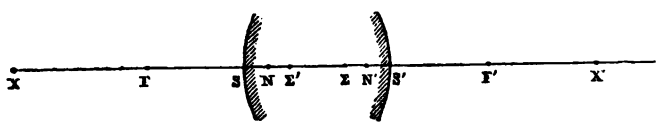
Il s'agit, comme on sait, de fixer, sur l'axe principal du système, la position de quatre points : les deux foyers principaux et les deux points nodaux (images du centre optique).

La règle que je vais indiquer s'applique aussi bien à une lentille simple qu'à un système de lentilles, qui est, comme on le sait, équivalent à une lentille unique. Il est bon d'employer une lumière homogène, à moins que le système ne soit bien achromatique; l'emploi d'un verre coloré suffit souvent pour donner une grande précision aux pointés; mais il est nécessaire, tout d'abord, de vérifier que le système est aplanétique, c'est-à-dire que tous les rayons qu'il doit réfracter concourent bien à la formation d'une image unique dans tous les cas où l'on devra l'utiliser; s'il n'en était pas ainsi, en réduisant son ouverture par un diaphragme de grandeur et de position convenables, on arriverait à le rendre suffisamment aplanétique pour posséder les propriétés théoriques qui servent de définition aux éléments principaux.

Ces propriétés sont les suivantes : les *foyers principaux* F, F′ (*fig.* 1) sont les points de convergence des rayons parallèles à l'axe du système; les points nodaux N, N′ sont les images virtuelles du

centre optique, vues par un observateur placé d'un côté ou de l'autre du système : les distances NF et N'F' sont égales à la *distance focale principale f*, et les distances x, x' de deux foyers con-

Fig. 1.



jugués quelconques X, X' aux foyers principaux correspondants [1] sont liées entre elles par la relation

$$xx' = -f^2.$$

On met le signe — si l'on compte x et x' dans le même sens.

La règle ordinaire s'en déduit aisément : 1° on détermine la po-

---

[1] Il faut apporter quelque attention dans certains systèmes optiques pour bien établir la *correspondance* des trois points X, F, N et X', F', N', car, suivant les cas, les points nodaux NN' et les points FF' peuvent occuper les positions relatives les plus diverses.

On évitera toute erreur en commençant par supposer une source de lumière réelle X, située à l'infini, du côté gauche par exemple, et se déplaçant toujours dans le même sens (vers la droite), jusqu'à la première surface (celle de gauche du système) : on aura $x = -\infty$. On supposera l'observateur placé de l'autre côté du système, et marquant successivement les foyers conjugués qu'il rencontrera : d'abord le foyer principal F', c'est l'origine des x'; le point lumineux se rapprochant, le foyer conjugué x' s'éloignera de F' et x' croîtra positivement; quand le point lumineux sera arrêté au point F, tel que X' soit à l'infini, la distance x sera nulle, car F est l'origine de x. Le point lumineux X continuant sa marche, le foyer conjugué X' ne sera plus réel : l'observateur ne juge de la position de ce foyer que par la divergence des rayons émergents : on dit qu'alors le foyer conjugué est *virtuel*, il a passé à gauche du système; il faut donc compter x négativement par rapport aussi à F' qui est son origine, tandis que x est positif, compté relativement à F. Le point lumineux s'avançant toujours arrivera à la première surface (celle de gauche); là, matériellement, il ne pourrait plus avancer; mais, pour l'observateur placé de l'autre côté du système, tout se passera comme si la source lumineuse pénétrait réellement dans le système, si l'on prend pour source lumineuse le point de concours de rayons concentrés par un système optique quelconque : de cette manière le point lumineux peut atteindre jusqu'au centre optique, c'est-à-dire jusqu'à un point tel que tout rayon entrant par la première surface du système émerge parallèlement à sa direction à sa sortie de la dernière. L'image virtuelle du centre optique pour l'observateur, toujours situé du côté de la dernière surface, est le point nodal N'. Les trois points N', F', X' correspondants sont donc ainsi bien définis. On obtiendrait de même la correspondance des trois autres.

sition des foyers principaux F et F′, en tournant successivement les faces du système vers un objet situé à l'infini, et l'on observe de l'autre côté du système le foyer des rayons conjugués; 2° on place un objet à une distance x d'un des foyers principaux et on observe la distance x' du foyer conjugué à l'autre foyer principal; le produit xx' donne le carré f^2 de la distance focale principale cherchée.

1° *Détermination des foyers principaux.* — Là déjà on rencontre une petite difficulté pratique; on dispose rarement d'un objet situé assez loin pour qu'on puisse le considérer comme à l'infini; on peut le remplacer par un collimateur, mais il faut que ce collimateur ait lui-même été réglé: la difficulté n'est donc que déplacée. L'emploi d'un miroir plan, utilisé sous l'incidence normale, simplifie sous certains rapports ce réglage; mais on peut s'en passer à l'aide de la règle suivante, qui n'est pas neuve, mais qui n'est pas assez connue :

On vise un objet assez éloigné, situé à m fois la distance focale de l'objectif, $x = mf$; la distance x' du foyer conjugué au foyer principal est la fraction $\frac{1}{m}$ de la longueur focale principale f.

C'est une conséquence de la formule $xx' = -f^2$, qu'on peut écrire $\frac{x'}{f} = -\frac{f}{x}$; si donc $x = mf$, il vient $x' = -\frac{f}{m}$; comme on le voit, la distance de l'objet est comptée non pas à partir du centre de l'objectif, mais à partir du foyer principal F situé du côté opposé à l'observateur; mais, comme on doit prendre m assez grand pour pouvoir confondre $\frac{1}{m}$ avec $\frac{1}{m+1}$, il suffit de connaître d'une manière approchée la distance de l'objet.

Ainsi, avec un objectif de $0^m,30$ de distance focale, un objet situé à 300^m donne un foyer conjugué, qui ne diffère que de la fraction $\frac{0,3}{300}$ ou $\frac{1}{1000}$ de la distance focale $0^m,300$, c'est-à-dire de $\frac{1}{3}$ de millimètre.

On peut donc se contenter d'observer avec exactitude la position du foyer de l'objet à 300^m : la correction à faire subir à cette observation est déterminée avec une exactitude parfaitement suffisante, quand bien même la distance de l'objet ne serait qu'imparfaitement déterminée. Une graduation sur le tirage des appareils optiques employés permet d'effectuer cette correction avec une ex-

trême facilité. Le sens de la correction n'est jamais douteux : si, par suite d'une complication quelconque, on hésitait sur ce sens, il suffirait d'observer successivement des objets de plus en plus éloignés : la position des foyers successifs de ces objets indiquera le sens de la correction qui détermine le foyer de l'infini.

Ainsi, avec cette règle, on peut se passer d'objets situés à de grandes distances, de collimateur ou de miroir plan, et inversement on peut régler les collimateurs et contrôler la planéité d'un miroir.

2° *Détermination des points nodaux.* — Il faut que x et x' soient déterminés avec une précision suffisante, car $f^2 = -xx'$; dès lors, si l'on commet une erreur δx sur x et $\delta x'$ sur x', on commet sur f une erreur δf, telle que

$$-(f+\delta f)^2 = (x+\delta x)(x'+\delta x')$$

ou approximativement

$$-2f\delta f = x\delta x' + x'\delta x;$$

divisant par f^2 et remarquant que

$$\frac{x}{f^2} = -x' \quad \text{et} \quad \frac{x}{f^2} = -x,$$

il vient

$$\frac{\delta f}{f} = \frac{1}{2}\left(\frac{\delta x'}{x'} + \frac{\delta x}{x}\right),$$

d'où l'on conclut que *l'erreur relative commise sur la distance focale est la moyenne des erreurs relatives commises sur les coordonnées x et x' des foyers conjugués.*

On reconnaît que ni x ni x' ne doivent être très-petits, car ces quantités entrent en dénominateur, et, comme δx et $\delta x'$ ne peuvent pas être nulles, l'erreur relative augmente rapidement avec la petitesse de x.

On pourrait croire que δx peut être égal à zéro ou au moins négligeable, puisque la position de l'objet peut être définie avec une grande exactitude; mais il n'en est rien, car x est la différence entre la position de l'objet et la position du foyer F; comme cette dernière est nécessairement erronée de δF, x est au moins égal à δF.

En tout cas, il est évident que, si x et x' sont de même ordre de grandeur, $\delta x'$ et δx sont aussi de même ordre; pour trouver les meilleures conditions à remplir, on peut supposer $\delta x' = \delta x = \delta F$, c'est-à-dire égale à l'erreur qu'on commet dans la détermination du foyer principal; on aura donc

$$\frac{f}{\delta f} = \frac{\delta F}{2}\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{x'}\right) \quad \text{avec} \quad xx' = f^2.$$

Les valeurs de x et x' qui rendent δf minimum sont évidemment $x = x'$, car on peut écrire

$$\frac{\delta f}{f} = -\delta F \frac{x + x'}{2xx'} = \frac{\delta F}{2}\frac{x + x'}{f^2};$$

il faut donc que les distances focales conjuguées soient voisines de l'égalité.

On est tenté alors de choisir pour la position de X et X' les points situés au double de la distance focale principale, comme dans le focomètre de Silbermann; mais cette disposition a l'inconvénient pratique d'exiger souvent, pour l'appareil de mesure, un développement inadmissible, égal au quadruple de la distance focale.

J'ai pensé qu'il était beaucoup plus pratique et surtout plus exact de prendre pour x et x' deux valeurs, pour ainsi dire égales et de signe contraire à celles-là, à savoir deux points très-voisins des points nodaux : les deux systèmes de points que je recommande, en raison des simplifications qu'ils apportent, sont les sommets des surfaces extérieures du système optique donné et leurs images observées à travers la surface opposée.

A cet effet, on trace (avec un pinceau et de l'encre de Chine délayée dans un peu d'eau gommée) sur le milieu de l'une des surfaces un petit trait S, et l'on mesure, par un moyen qui sera indiqué plus loin, la distance ε' de son image Σ', vue à travers la surface S', au sommet S', sur laquelle on a tracé également un petit trait (*fig.* 1).

Comme on a mesuré préalablement les distances des foyers principaux F et F' aux surfaces voisines S S', à savoir $FS = d$, $F'S' = d'$, on voit que, si S sert de point lumineux, Σ' est son foyer conjugué; dès lors on a

$$d(d' + \varepsilon') = -f^2.$$

Mais, comme on peut de la même manière, en retournant le système, observer S′ à travers la surface S, c'est-à-dire son image Σ et mesurer la distance $S\Sigma = \varepsilon$, on aura une nouvelle équation

$$d'(d+\varepsilon) = -f^2,$$

laquelle fournit une vérification d'autant plus précieuse qu'elle est très-aisée à obtenir. On détermine ainsi de deux manières la distance focale principale f.

Connaissant la valeur de f, en la portant en sens convenable, à partir de F et de F′ sur l'axe principal, on détermine alors les points nodaux NN′.

L'équation de vérification peut se mettre sous la forme intéressante

$$d\varepsilon' = d'\varepsilon \quad \text{ou} \quad \frac{d}{d'} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon},$$

qui s'interprète aisément.

La détermination de ε et ε' se fait très-aisément : il suffit de placer le système proposé sur un petit chariot mobile le long d'une règle divisée; un microscope à long foyer, muni d'un réticule et d'un oculaire positif convenable, permet de définir avec précision le plan de visée en φ. On déplace le système optique de façon à amener successivement dans le plan de visée φ le trait de la surface S′ et l'image du trait S, c'est-à-dire sur le réticule l'image du trait de la surface S′, puis l'image conjuguée du trait S; la différence des lectures du chariot dans ces deux positions donne la longueur ε'.

On peut même, si la course du chariot est suffisante, déterminer aussi d' par une troisième lecture : il suffit de disposer dans l'axe même de l'appareil un objet suffisamment éloigné (ou un collimateur au besoin), et de déplacer le chariot jusqu'à ce que le plan principal du système optique vienne coïncider avec le plan focal φ du microscope, ce que l'observateur déterminera par la condition de voir l'image *redressée* de l'objet en coïncidence avec le plan du réticule.

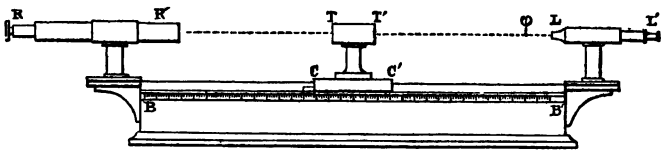
Les trois lectures consécutives du chariot donnent donc d et $d'+\varepsilon$; si l'on recommence les mêmes opérations en retournant le système optique, on obtiendra de même d et $d+\varepsilon$, par suite, les éléments de la détermination de f^2.

Je pense que la solution du problème proposé est arrivée à son maximum de simplicité pratique.

II. — *Description succincte d'une expérience.*

J'ai fait construire par M. Duboscq un appareil (*fig.* 2), qui rend ces déterminations extrêmement rapides et faciles : le microscope à long foyer LL′ est placé sur un support fixé à l'extrémité d'un banc BB′ en fonte rabotée, sur lequel glisse un chariot CC′ mobile le long d'une règle divisée; un index muni d'un vernier au dixième permet d'estimer au demi-dixième de millimètre le déplacement du chariot. Le chariot porte un support sur lequel on peut centrer les systèmes optiques à étudier, soit en les adaptant dans le tube TT′, soit en les fixant avec de la cire molle sur des pièces additionnelles rentrant dans ce tube.

Fig. 2.



Un collimateur RR′, muni d'une fente ou d'un diaphragme portant un réticule, est placé à l'autre extrémité du banc; il dispense, dans les expériences qui n'exigent qu'une précision médiocre, de viser un objet éloigné : il est d'ailleurs facile à enlever. Lorsque le système optique à étudier a été convenablement diaphragmé, centré et fixé sur le chariot, l'expérience complète, avec les vérifications, consiste en six observations analogues :

1° On dirige l'axe optique principal de l'appareil sur un objet situé à une distance connue approximativement et égale à plusieurs centaines de fois la distance focale du système étudié et à faire voyager le chariot jusqu'à ce que l'image de cet objet formée par le système optique vienne se faire au foyer φ, au plan de visée du microscope LL′, c'est-à-dire lorsque l'image nette et redressée de l'objet sera en coïncidence avec le plan du réticule. La précision de cette coïncidence dépend évidemment de la perfection de l'i-

mage visée et de la construction du microscope; on l'augmente jusqu'à une certaine limite, en accroissant le pouvoir de l'oculaire du microscope et en plaçant un verre rouge en arrière de cet oculaire. Lorsque la coïncidence de l'image est aussi parfaite que possible, on lit la position de l'index sur la règle : soit z'_0 la lecture ou mieux la moyenne de plusieurs lectures faites en amenant le chariot par des mouvements de sens inverse.

2° On rapproche le chariot jusqu'à ce que le point tracé sur la surface la plus voisine soit perçu nettement dans le microscope; on lit la nouvelle position de l'index : soit z'_1 cette lecture ou moyenne de lectures.

3° On rapproche encore davantage le chariot, jusqu'à voir distinctement dans le microscope le point tracé sur la surface opposée du système : soit z'_2 la nouvelle position de l'index, si l'objet visé est suffisamment éloigné, on a

$$d' = z'_1 - z'_0, \quad d' + \varepsilon' = z'_2 - z'_0,$$

sinon on effectue la correction de la lecture z'_0 dans le sens voulu (on a vu plus haut qu'il n'y a aucune hésitation possible), et les formules restent les mêmes.

4°, 5° et 6° On retourne le système optique bout pour bout, et l'on fait les trois lectures analogues z_0, z_1, z_2. On a alors

$$d = z_1 - z_0, \quad d + \varepsilon = z_2 - z_0,$$

d'où l'on conclut

$$f^2 = +(z_1 - z_0)(z'_2 - z'_0), \quad f^2 = +(z'_1 - z_0)(z_2 - z'_0).$$

Les deux valeurs de f^2 doivent être les mêmes, ce qui fournit la vérification indiquée plus haut.

On met ici le signe +, car le retournement bout pour bout du système change le sens des valeurs positives pour chaque foyer principal.

EXEMPLES NUMÉRIQUES.

1° *Objectif achromatique d'une petite lunette astronomique.* — On visait un objet situé à 340^m environ. Les divisions d de l'échelle qui mesure le déplacement du chariot sont des centimètres.

Lectures de l'échelle.

$$\text{Position directe ou normale de l'objectif.....}\begin{cases} z'_0 = 29^{d},78, & \text{visée sur l'objet éloigné,} \\ z'_1 = 2,38, & \text{visée sur la surface voisine,} \\ z'_2 = 1,94, & \text{visée sur la surface opposée.} \end{cases}$$

$$\text{Position inverse}\begin{cases} z_0 = 33,66, \\ z_1 = 5,85, \\ z_2 = 5,40. \end{cases}$$

La distance focale approchée $z'_0 - z'_1$ est 27^{d} ou $0^{m},27$: la correction du foyer de l'infini est donc $27^{d} \times \frac{0,27}{340} = 0^{d},0214$ ou $0^{d},02$. Quant au sens de la correction de z'_0, il est tel que la distance du foyer à la surface voisine est diminuée ; il faut donc diminuer z'_0 et z_0 de 0,02, ce qui revient à augmenter numériquement de 0,02 toutes les différences calculées :

$$z'_1 - z'_0 = -27,40, \qquad z_1 - z_0 = -27,40,$$
$$z_2 - z_0 = -28,76, \qquad z'_2 - z'_0 = -28,76.$$

Ajoutant 0,02 et effectuant les produits, il vient respectivement pour f^2 les nombres 775,34 et 775,44, dont les racines carrées f sont 27,845 et 27,847 : la concordance est donc très-satisfaisante.

L'intérêt de cette détermination exacte de la distance focale d'un objectif astronomique est de connaître *a priori* la valeur angulaire des divisions d'un micromètre quelconque, placé en un foyer conjugué quelconque de l'objectif. En Astronomie, on arrive à une détermination analogue par l'observation des étoiles circompolaires ; mais c'est un artifice qu'il n'est pas facile d'employer et qui, en tout cas, ne s'applique qu'au foyer principal.

Remarque. — Dans le cas des systèmes optiques peu épais, on peut simplifier le calcul numérique précédent ; car la moyenne arithmétique de deux nombres très-voisins ne diffère pas de leur moyenne géométrique que l'on doit calculer.

En effet, prenant la moyenne des différences $z_1 - z_0$ et $z'_2 - z'_0$ d'une part et $z'_1 - z'_0$ et $z_2 - z_0$ de l'autre, il vient respectivement —27,825 et —27,83 ; ajoutant la correction —0,02, on obtient 27,845 et 27,850, dont l'un est identique, l'autre presque identique aux valeurs trouvées par le calcul direct.

Il reste à calculer la position des points nodaux : ces points

sont situés à des distances des foyers principaux égales à $f = 27,85$; si l'on veut les rapporter aux surfaces de l'objectif, il suffit de retrancher f de la distance des foyers principaux aux surfaces voisines.

	Position directe de l'objectif.		Position inverse de l'objectif.
z'_0 corrigé.....	29,76	z_0 corrigé...	33,64
z'_1.....	2,38	z_1.....	5,85
Distance du foyer principal à la surface voisine.	27,38		27,79
Distance focale princip.	27,85		27,85
Distance du point nodal correspondant.....	$0^d,47$		0,06

Les deux points nodaux sont tous deux à l'intérieur de l'objectif : l'un à $4^{mm},7$ de la surface la plus voisine du foyer, l'objectif étant dans sa position normale, l'autre à $0^{mm},6$ de la surface extérieure de l'objectif.

Cette inégalité n'a rien qui doive étonner, car la forme de l'objectif est celle d'une lentille plan convexe; si, au lieu d'être composé de deux verres de nature différente, collés ensemble, l'objectif était composé de deux verres de même nature, le centre optique de la lentille unique, ainsi formée, serait situé exactement sur le sommet de l'unique face courbe et celui des points nodaux, qui en est l'image vue à travers cette face, coïnciderait avec lui. La diversité des verres, flint et crown, n'a donc que peu altéré cette propriété de la lentille simple plan convexe.

Enfin la mesure directe de l'épaisseur de l'objectif ayant donné $0^d,67$, il en résulte que les deux points sont situés intérieurement à la lentille à une distance égale à $0,67 - 0,47 - 0,06 = 0,14$ ou $1^{mm},4$; ils occupent, relativement aux points focaux principaux et aux sommets des surfaces extérieures de l'objectif, la position indiquée plus haut sur la *fig.* 1.

Il est bon d'indiquer ici une vérification, qui, sans être nécessaire, est toujours bonne à essayer dans les cas où elle est particulièrement simple. La détermination des points focaux et nodaux, par rapport aux surfaces extérieures du système optique, n'exige pas la connaissance de la distance de ces surfaces,

parce que les images formées de part et d'autre de l'appareil optique forment deux groupes indépendants; il n'en est pas de même lorsqu'on veut calculer la distance des deux points nodaux, par exemple, pour se rendre compte de leur position relative. Il existe une relation entre cette distance et l'épaisseur du système optique. Cette relation est plus ou moins complexe suivant la compositionde ce système; dans le cas d'une lentille plan-convexe, homogène, la simplicité est très-grande : l'un des points nodaux qui coïncident avec le centre optique de la lentille est situé sur la surface convexe; l'autre, image de ce point à travers la surface plane de la lentille, sous une incidence voisine de l'incidence normale, est situé dans l'intérieur du milieu réfringent à une distance de la surface égale à $\frac{e}{n}$, e étant l'épaisseur de la lentille et n son indice de réfraction. Présentement, l'épaisseur de l'objectif est de 0,67; son indice de réfraction *moyen* est environ 1,55 (car le flint et le crown, dont le pouvoir dispersif est très-différent, ont des indices assez voisins); l'un des points nodaux doit être à $\frac{0^d,67}{1,55}$ ou $0^d,43$ de la surface plane : l'expérience a donné 0,47.

Ce calcul, qui n'est qu'approximatif, donne donc, sinon une vérification théorique, du moins la preuve qu'il n'y a aucune erreur matérielle appréciable dans le calcul ni dans les mesures.

La vérification rigoureuse pour un objectif composé se ferait d'ailleurs sans difficulté, si l'on prenait la peine de déterminer séparément les éléments principaux des deux lentilles qui le composent, et de calculer la position des points principaux du système.

2° *Objectif photographique double à portraits de M. Darlot.*— Cet objectif, composé de quatre verres suivant la construction usuelle, a été diaphragmé intérieurement à 28^{mm}; l'objet visé était situé environ à 60^m de l'appareil :

Position directe ou normale de l'objectif.....	$z'_0 = 28^d,68$,	visée sur l'objet éloigné,
	$z'_1 = 17,13$,	visée sur la surface voisine,
	$z'_2 = 7,59$,	visée sur la surface opposée.
Position inverse.	$z_0 = 30,76$,	
	$z_1 = 18,50$,	
	$z_2 = 8,43$.	

Ici l'épaisseur du système optique ($7^d,65$) ne permet pas de prendre la distance du foyer des objets lointains à la surface comme distance focale principale : on calculera d'abord une valeur approchée de cette distance focale en négligeant la correction, d'ailleurs très-petite, et l'on reprendra le calcul avec la valeur calculée de la correction des foyers z_0, z'_0

$$z_1 - z'_0 = -11,55, \quad z'_1 - z_0 = -12,26,$$
$$z_2 - z''_0 = -22,33, \quad z'_2 - z'_0 = -21,09.$$

On ne pourrait pas non plus substituer la moyenne arithmétique à la moyenne géométrique des données, à cause de la grande différence des deux nombres, pour le calcul exact de la distance focale ; mais, comme il ne s'agit que de la valeur approchée nécessaire pour calculer une correction très-petite, cette approximation suffit provisoirement et l'on peut prendre $16^d,9$ ou 16,8 pour distance focale principale : la correction $16,8 \frac{16,8}{6000} = 0^d,047 = 0,05$ à retrancher de z_0 et z'_0 ou à ajouter numériquement aux différences. On en déduit

$$f^2 = 11,50 \times 22,28 = 256,22 \quad \text{et} \quad f^2 = 12,21 \times 21,04 = 256,90;$$

et par suite les deux valeurs

$$f = 16,007 \quad \text{et} \quad f = 16,028.$$

A l'aide de ces valeurs on peut calculer de nouveau la correction $\frac{(16,0)^2}{600} = 0,043$, c'est-à-dire 0,04 au lieu de 0,05 qui avait été adopté. On n'a pas besoin de recommencer le calcul : il suffit d'ajouter 0,01 aux deux valeurs de f, ainsi que le prouverait le calcul direct :

$$f = 16,017 \quad \text{et} \quad f = 16,038.$$

Mais, comme on arrive à la limite d'exactitude utile, cette nouvelle correction n'a pas grande importance.

L'intérêt de cette détermination exacte de la longueur focale de cet objectif est la connaissance *a priori* de la position des foyers

conjugués correspondant à une réduction ou à une amplification donnée des images à reproduire.

La distance des points nodaux s'obtiendra, comme précédemment, en retranchant f de la distance du point focal principal à la surface.

	Position directe.		Position inverse
	d		d
z'_0 corrigé.....	28,64	z_0 corrigé...	30,72
z'_1.....	17,13	z_1.....	18,50
	11,51		12,22
Distance du foyer principal à la surface voisine f....	16,03		16,03
Distance du point nodal à la surface voisine.....	—4,52		—3,81

Les deux points nodaux sont à l'intérieur du système optique : la somme de leurs distances aux surfaces $4^d,52 + 3^d,81 = 8^d,33$ étant plus grande de $0^d,68$ que la distance des surfaces $7^d,65$, il en résulte que les points nodaux sont *croisés*, c'est-à-dire que, contrairement à la disposition de la *fig.* 1, le point nodal et son foyer correspondant ne sont pas voisins, mais contiennent dans leur intervalle le point nodal correspondant à l'autre foyer.

3° *Objectif faible de microscope* (*numéro zéro de M. Véric*). — Il est composé de deux lentilles achromatiques de dimension et de composition différentes.

Objet visé situé à 340^m de l'objectif.

Position directe de l'objectif (fonctionnement normal).	$z'_0 = 10,73$,	visée sur l'objet éloigné,
	$z'_1 = 8,75$,	visée sur la surface voisine,
	$z'_2 = 7,14$,	visée sur la surface opposée.
Position inverse.	$z_0 = 8,37$,	
	$z_1 = 6,34$,	
	$z = 4,69$.	

La distance focale principale n'est que de 2 ou 3 centimètres : l'objet visé est ainsi à plus de mille fois la distance focale de l'objectif : la correction des points z_0, z'_0, égale à $0^d,002$ ou $0^d,003$, est donc négligeable à l'ordre d'approximation de ces mesures. On en

déduit

$$z'_1 - z'_0 = -1^{d},98, \quad z_1 - z_0 = -2^{d},03,$$
$$z_2 - z_0 = -3,68, \quad z'_2 - z'_0 = -3,59,$$

d'où les deux valeurs de f^2, 7,2864 et 7,2877 dont les racines carrées sont respectivement 2,699 et 2,700.

Les points nodaux présentent cette particularité d'être presque confondus, ainsi que le prouve leur détermination numérique :

	Position directe.		Position inverse.
z'_0	$10^{d},73$	z^2	$8^{d},37$
z'_1	8,75	z_1	6,34
	1,98		2,03
Distance du foyer principal à la surface voisine f.....	2,70		2,70
	—0,72		—0,67

Les points nodaux sont, comme on le voit, dans l'intérieur du système; la somme de leur distance à la surface voisine est $1^{d},39$ et est inférieure de $0^{d},05$ à l'épaisseur $1^{d},44$ de l'objectif : ils sont donc situés à un demi-millimètre. En écartant les deux objectifs qui composent ce système on diminuerait encore cette distance : on parviendrait ainsi à la rendre nulle et même négative, comme dans l'objectif photographique cité plus haut.

SÉANCE DU 6 AVRIL 1877.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 7 heures et demie.

Cette séance a été consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et les appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance; les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées.

Connexion des axes des ellipses de conductibilité thermique et des coefficients d'élasticité de flexion dans le gypse; par M. Jannettaz.

Application des couches d'or très-minces au perfectionnement des cathétomètres et des autres instruments de mesure; par M. Govi.

Mise au point d'un microscope; par M. Govi.

Sur la température de solidification, production à la même température des deux variétés dimorphiques du soufre; par M. Gernez.

Sur les phénomènes d'induction; par M. Mouton.

Divers radiomètres construits; par M. Alvergniat.

Modifications des propriétés physiques du carbone, sous l'influence de la chaleur; par M. Sidot.

Emploi des boussoles de déclinaison à la mesure de l'inclinaison de l'intensité absolue et de la déclinaison de l'aiguille aimantée; par M. Marié-Davy.

Projection des flammes manométriques, au moyen du phénakisticope; par M. Gariel.

Expériences sur la dépolarisation et la persistance des impressions sur la rétine; par M. Duboscq.

Sur les effets d'un jet d'air lancé dans l'eau; par M. F. de Romilly.

Suspension et ébullition de l'eau sur un tissu à larges mailles; par M. F. de Romilly.

Expérience analogue à celle des flammes chantantes; par M. Montenat.

Moteur Bisschop pour laboratoire de Physique; par M. Rouart.

Décharge électrique de la torpille; par M. Marey.

Électromètre; par M. Lippmann.

Sur l'astigmatisme; par M. Javal.

Expérience sur le radiomètre; par M. Bertin.

Appareil pour mesurer les éléments principaux des systèmes optiques; par M. Cornu.

Microscope polarisant et à projection; par M. Nodot.

Balance automatique pour peser les monnaies; par M. Deleuil.

Gazhydromètre; par M. Maumené.

Nouvelle lanterne à projection de M. Laurent.

Pile au bichromate de potasse; par MM. Mors et Camacho.

Nouvelle disposition de l'électro-aimant de Faraday; par M. Ducretet.

Alambic solaire; par M. Mouchot.

Étuves à températures constantes; par M. d'Arsonval.

SÉANCE DU 20 AVRIL 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Les procès-verbaux des séances des 16 mars et 2 avril sont lus et adoptés.

Sont élus membres de la Société : MM. Benoît, docteur ès sciences; Bertereau (Ed.), préfet de la Haute-Saône; Brisac, ingénieur.

M. Bourbouze présente des appareils servant à répéter commodément diverses expériences de Physique :

1° Une roue dentée de Savart simplifiée;

2° Un appareil pour le magnétisme de rotation : le même moteur tournant sert pour ces deux expériences, et il est réduit à sa plus grande simplicité;

3° Un disque de cuivre tournant, vertical, qui sert à répéter l'expérience précédente avec l'aiguille du galvanomètre vertical du même auteur, la bobine ayant été enlevée.

Les appareils présentés sont mis en expérience par M. Bourbouze.

M. Bertin présente le microscope polarisant de M. Nodot, construit par M. Ducretet.

Cet appareil sert aussi bien à observer directement les effets de la lumière polarisée dans les cristaux qu'à les projeter : un changement de disposition très-simple permet de passer d'un usage à l'autre. On peut aussi placer les cristaux soumis à l'expérience soit dans la lumière convergente, soit dans la lumière parallèle.

M. Bertin projette un grand nombre de phénomènes de polarisation chromatique, en se servant de la lumière Drummond.

L'étendue du champ est remarquable. On observe les lemniscates complètes des cristaux à deux axes, lors même que l'angle de ces axes est trop grand pour les appareils ordinaires.

William Grosseleste
Ingénieur

Microscope polarisant; par M. Nodot.

Cet appareil permet d'observer directement les phénomènes de polarisation, ou bien de les projeter : un changement de disposition très-simple suffit pour passer d'un usage à l'autre.

1° *Observation directe.* — La *fig.* 1 représente mon nouveau microscope, tel qui doit être disposé pour l'observation directe. Une pile de glaces G de large surface, éclairée par un miroir mo-

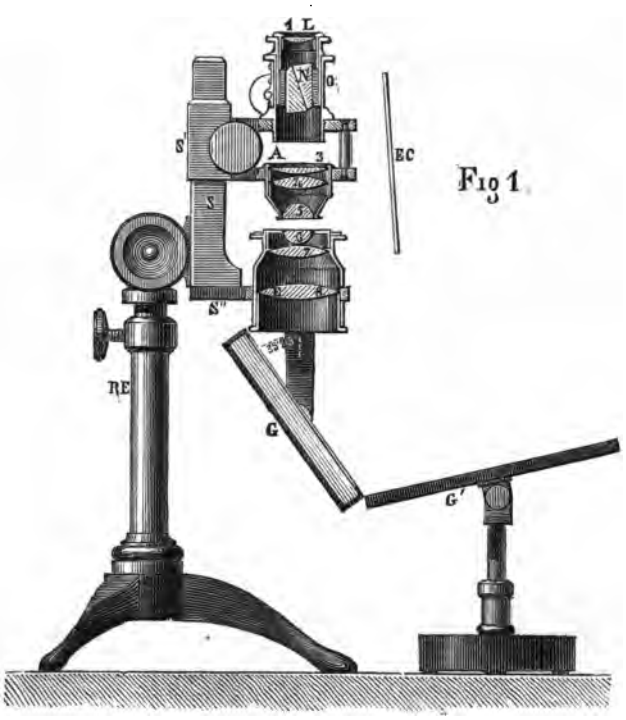


Fig 1

bile G', sert de *polariseur;* un Nicol N, de petite dimension, placé au-dessous de la lentille L 1, sert d'*analyseur*.

Le système éclairant comprend les trois lentilles convergentes inférieures : il concentre la lumière polarisée sur le cristal à observer, placé entre les deux lentilles demi-boules 6-5. Les rayons

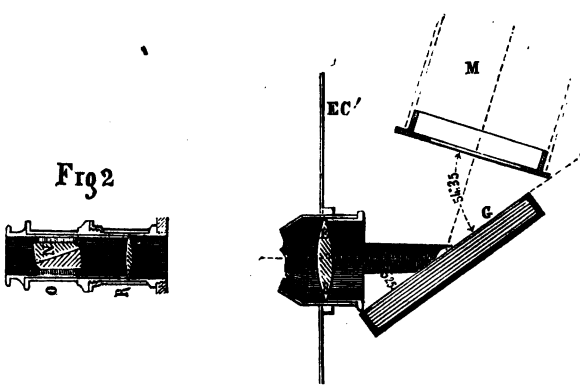
traversent ensuite les lentilles supérieures, qui forment l'objectif et l'oculaire du microscope. L'un et l'autre se déplacent à l'aide d'une crémaillère. L'écran EC arrête les rayons extérieurs. La monture de la lentille 6 est à plaque tournante, avec graduation pour l'orientation du cristal.

L'appareil étant placé devant une fenêtre bien éclairée, on produit le maximum d'éclairage du champ de la vision, puis on amène le Nicol à l'extinction, en le tournant de 90°.

Pour les expériences dans la lumière convergente, le cristal à observer est placé entre les deux lentilles demi-boules 5-6. Pour les expériences dans la lumière parallèle, on le place dans l'intervalle A.

Il nous paraîtrait superflu d'insister ici sur les phénomènes nombreux que l'on peut observer dans l'un ou l'autre cas : nous nous bornerons à renvoyer le lecteur au Mémoire inséré par M. Bertin dans le tome IV du *Journal de Physique* (p. 72 et 111). Il y trouvera décrites, avec détail, les expériences les plus intéressantes de polarisation.

2° *Projection.* — Quand on veut faire avec le même appareil des expériences de projection, l'instrument est placé horizontalement; la pile de glaces, tournée sur elle-même de 90°, est amenée,



suivant la *fig.* 2, devant la source lumineuse M (lumière de Drummond, électrique ou solaire). Les rayons doivent être un peu convergents sur la pile de glaces. L'écran EC est supprimé et remplacé par l'écran EC' (*fig.* 2); la lentille 1, supprimée et remplacée

par la lentille de projection P 2, placée en arrière du Nicol. On dévisse le tube oculaire O de sa monture S′, on adapte le raccord à tirage R et on le rétablit sur la monture S′. Les autres parties de l'instrument restent suivant la *fig.* 1; mais on superpose une pince à cristaux à la plaque tournante de la lentille demi-boule G. L'écran de projection est placé à environ 2 mètres de l'instrument, le disque lumineux a un diamètre d'environ 90^{c}. Le Nicol étant à l'extinction et la mise au point réalisée, l'appareil est prêt, et toutes les expériences, que l'on pouvait observer directement à l'œil, peuvent être brillamment projetées. La projection des lemniscates des cristaux à axes écartés, tels que topaze, gypse, etc., réussit très-bien.

Pour la projection des franges dans la lumière homogène, il suffit d'enlever le crayon de chaux de la lampe Drummond et de le remplacer par un bâton de verre ordinaire, placé dans une monture spéciale. L'hydrogène est dirigé sur ce bâton avec précaution, on amène ensuite (lentement) l'oxygène. L'écran est placé à une distance plus rapprochée, environ 1 mètre.

On peut toujours substituer un fort Nicol à la pile de glaces, mais son prix est assez élevé.

Pour avoir des projections d'un petit diamètre, mais très-fortement éclairées, on enlève la lentille de projection P 2, et l'on remet en avant (comme dans la *fig.* 1) la lentille L 1, sans diaphragme. Cette disposition est employée pour prendre la *photographie* des franges, qu'on projette alors dans l'intérieur d'une chambre noire, disposée comme à l'ordinaire.

Cet appareil est construit très-habilement par M. Ducretet.

SÉANCE DU 4 MAI 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 avril est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. le baron Paul Thenard,

Membre de l'Institut ; Bergeron, Ingénieur à Arras ; Caël, Inspecteur des télégraphes à Lille ; Pedro Garza, Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique); Sarcia Gril, capitaine d'artillerie de la Marine.

M. Jannettaz a reproduit, sur des disques circulaires ou elliptiques, les lignes nodales que Savart n'avait cherché à former que sur les disques circulaires dans les substances où l'élasticité varie suivant la direction.

M. Jablochkoff fait devant la Société des expériences de lumière électrique au moyen des courants induits développés dans une bobine de Ruhmkorff par le passage des courants alternatifs d'une machine magnéto-électrique de l'*Alliance*.

M. Joseph van Malderen se félicite de l'avantage qu'ont présenté à M. Jablochkoff les machines à courant alternatif. Il a toujours considéré comme son plus grand succès, dans la question de l'éclairage électrique, d'avoir pu réaliser un régulateur le dispensant de produire au préalable un renversement de courants, tout appareil de ce genre lui paraissant incompatible avec les énormes courants qui sont alors employés. M. Jablochkoff aurait rencontré les mêmes impossibilités si, se servant de courants continus, il avait dû laisser subsister l'interrupteur ordinaire des bobines d'induction.

Il présente un petit régulateur où les charbons sont amenés l'un vers l'autre par une composante de leur poids et qui peut fonctionner automatiquement d'une façon suffisante pour des expériences de cours. Il réalise ensuite quelques expériences comparatives d'aimantation par des courants alternatifs ou continus.

Relations entre la propagation de la chaleur et de l'élasticité, dans les matières à structure symétrique ;

par M. Ed. Jannettaz.

La relation que j'ai tirée de mes expériences [1], entre la direction de plus facile propagation de la chaleur et celle de plus facile

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIX, p. 15. — *Bulletin de la Société géologique*, 3e série, t. I, p. 117; t. III, p. 500.

divisibilité dans les corps cristallisés, ou dans les roches naturellement ou artificiellement schisteuses, était connexe de la suivante : la direction suivant laquelle la chaleur se propage le mieux doit posséder une plus grande élasticité que celle de plus petite conductibilité thermique.

J'avais déjà observé la coïncidence parfaite des ellipses qui mesurent la conductibilité thermique et de celles qui mesurent la résistance à la flexion. Je rappelle qu'en faisant un trou dans une lame de gypse obtenue par clivage, et en appuyant légèrement à un certain moment sur la partie de cette lame, que le forage n'a pas encore atteinte, j'écarte celle-ci de la partie supérieure, et qu'entre les deux se développent des anneaux colorés, analogues aux anneaux dits de Newton; que ces anneaux ont la forme d'ellipses, et que ces ellipses ont leurs axes identiques, comme direction et comme grandeur relative, à ceux de la courbe que produit après son refroidissement de la graisse étalée sur cette lame, et chauffée en un point, d'après le procédé de de Senarmont. Plus tard (1), j'ai infléchi des bandes de gypse, taillées dans des directions différentes, et j'ai reconnu que l'élasticité parvient à son maximum dans la direction parallèle au grand axe des courbes précédentes.

J'étais amené à comparer le résultat précédent à celui que peut fournir l'observation des lignes nodales obtenues en faisant vibrer des disques de gypse. On doit à Savart les premières expériences de ce genre exécutées sur des corps cristallisés (2).

Il avait pris pour point de départ les expériences suivantes : si l'on ébranle un disque de cuivre à la surface duquel on a fait graver des stries parallèles, assez rapprochées les unes des autres, en fixant la plaque par le centre et attaquant avec un archet l'une des extrémités du diamètre du disque perpendiculaire à la direction des stries, on obtient pour lignes nodales deux branches d'hyperbole, dont l'axe réel se confond avec le diamètre ébranlé. Lorsqu'on ébranle le centre du disque, en maintenant fixes deux points de sa circonférence, on a pour ligne nodale une ellipse, dont le petit axe est parallèle aux stries et à l'axe imaginaire de l'hyperbole pré-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXII, p. 839, 1876.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XL, p. 15, 1829.

cédent. Quels que soient les points maintenus fixes, la courbe est la même et le son ne change pas.

Savart a pensé qu'il en devait être de même dans les disques circulaires de substances cristallisées; mais il s'est particulièrement attaché à l'ébranlement par les bords. En ébranlant ainsi un disque de bois, il a observé que la ligne nodale est formée, comme dans le cas du disque de cuivre strié, de deux branches d'hyperbole, dont l'axe imaginaire est aussi parallèle aux fibres du bois, c'est-à-dire à la direction de plus grande élasticité, ou de plus grande résistance à la flexion.

Le cristal de roche a fourni des résultats plus complexes, mais d'où il semblerait résulter que l'axe de figure doit posséder une élasticité plus grande que les axes horizontaux qui lui sont perpendiculaires. La chaleur s'y propage aussi plus facilement.

Sur le gypse, Savart n'a opéré que par l'ébranlement des bords; mais, plus tard (1), Angström a fait vibrer des disques de cette matière, en les ébranlant par le centre. Les disques avaient leurs faces parallèles au plan de clivage facile du gypse, au plan de symétrie (g^1). Le petit axe de la courbe fermée, que le physicien suédois a vu se développer comme ligne nodale, est à environ 13° du clivage vitreux (plan h^1), à 53° du clivage fibreux (plan p).

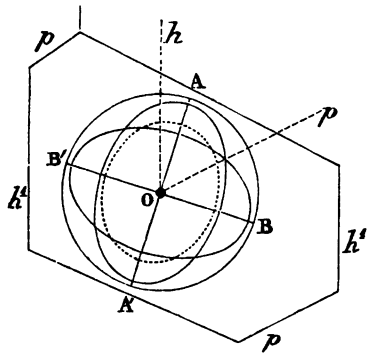
Ce petit axe indiquerait la direction de plus grande élasticité. Or dans les anneaux colorés produits par pression, le grand axe, parallèle à la direction de l'élasticité maximum, est à 17° du clivage vitreux, à 49° du clivage fibreux. Il s'agissait de chercher pourquoi ces données ne sont pas d'accord avec les expériences d'Angström.

J'ai remarqué d'abord que Angström avait en réalité observé diverses courbes fermées sur les disques de gypse qu'il faisait vibrer par le centre. Il croyait pouvoir expliquer ces courbes, en admettant que l'axe d'élasticité sonore varie de position, suivant que le son est plus ou moins élevé; qu'il y a une dissémination de ces axes correspondant aux sons de différentes hauteurs, analogue à la disposition des axes d'élasticité optique pour les différentes couleurs, dans les cristaux dont les formes dérivent de prismes obliques.

Convaincu que les axes d'élasticité sonores sont parallèles à

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. LXXXVI, p. 217, 1852.

ceux de mes anneaux colorés elliptiques, et à ceux de la courbe des conductibilités thermiques, j'ai fixé les extrémités du diamètre parallèle au petit axe de la courbe des conductibilités, et j'ai vu se produire comme ligne nodale une ellipse dont les axes étaient entre eux dans un rapport voisin de 1,5 (moyenne de neuf mesures), le grand axe de la ligne nodale étant parallèle au petit axe des courbes thermiques. En fixant les extrémités du diamètre parallèle au grand axe des ellipses formées par les anneaux colorés, j'ai donné lieu à une autre ellipse nodale, dont les axes étaient parallèles à ceux de la précédente, mais inversement placés. Le son était ici plus grave. Le rapport des nombres de vibrations pour les deux cas est environ $\frac{5}{4}$ (1).



J'ai ensuite ébranlé des disques circulaires de gypse par les

(1) Dans la figure ci-jointe,

Op est la trace du clivage fibreux, base du prisme (face p);

Oh la trace du clivage vitreux, face antérieure (face h^1);

OA la direction du grand axe des anneaux colorés elliptiques de la courbe isothermique et du grand axe de l'ellipse nodale obtenue en fixant les extrémités du diamètre AA'.

OB la direction du petit axe des anneaux colorés elliptiques et de la courbe isothermique et du grand axe de l'ellipse nodale obtenue en fixant les extrémités du diamètre BB'.

Les ellipses en trait plein figurent les lignes nodales qui se développent, quand on ébranle les bords du trou central O; leur grand axe est parallèle à la direction qui réunit les points maintenus fixes.

L'ellipse ponctuée représente la courbe isothermique, ou celle des anneaux colorés, qui ont leur grand axe à 17° du clivage vitreux Oh.

La courbe circulaire représente le contour du disque soumis à l'observation.

bords; j'ai alors obtenu comme lignes nodales des branches d'hyperboles, dont les asymptotes étaient dirigées, l'une presque parallèlement au diamètre OB, l'autre à 10° du diamètre OA (à 7° de la ligne O*h*), lorsqu'on faisait vibrer au moyen d'un archet un point intermédiaire entre A et B.

Mais la forme circulaire m'a paru ne pas convenir à des substances dont l'élasticité n'est pas la même pour les différentes directions; j'ai pensé qu'il était préférable de découper des disques elliptiques et de faire varier la grandeur relative des axes de ces disques. J'ai vu ainsi que les asymptotes des hyperboles dessinées par les lignes nodales se rapprochent de plus en plus des directions OA et OB, à mesure que le rapport de l'axe dirigé suivant OB à celui qui a la direction OA se rapproche davantage de 1,45. A cette limite, les deux branches d'hyperbole deviennent deux droites rectangulaires; au delà, on voit l'asymptote parallèle à OA rebrousser chemin et redevenir oblique par rapport à OB. Lorsque les disques elliptiques n'ont pas leurs axes parallèles aux directions OA et OB, l'une des asymptotes tend néanmoins vers la direction OA; l'autre est parallèle au grand axe du disque.

Quartz. — J'ai fait vibrer un disque circulaire de cristal de roche percé en son centre; en ébranlant un des points du bord du trou central. Le disque avait ses faces parallèles à une face du prisme et à l'axe vertical, ou axe de figure des cristaux; OA étant cet axe et OB la trace du plan horizontal sur le disque, on peut y faire apparaître des lignes nodales elliptiques, dont le grand axe est parallèle à OB, ou à OA, suivant qu'on fixe les extrémités B, B′ ou les extrémités A, A′. Les axes des ellipses me paraissent offrir le même rapport 1,35, dans les deux cas. Peut-être l'ellipticité est-elle un peu plus forte pour la courbe qui se manifeste, quand on fixe les extrémités B, B′ du diamètre parallèle à la direction de plus petite propagation de la chaleur. Le son obtenu dans ce cas est plus élevé d'un demi-ton que lorsqu'on maintient fixes les extrémités A, A′ du diamètre parallèle au grand axe de la courbe isothermique. En fixant les deux extrémités de la direction située à 45° des deux précédentes, on entend un son intermédiaire.

J'ai opéré ensuite sur un disque d'ardoise à faces parallèles au clivage facile : on sait que l'ardoise présente un second clivage, perpendiculaire au premier et qu'on appelle *longrain*.

En fixant les extrémités du diamètre parallèle au longrain, j'ai entendu le son *ré* dièse au-dessus du *la* normal; en fixant les extrémités d'un diamètre à 45° du précédent, le son entendu était intermédiaire entre le *ré* dièse et le *mi*; enfin, en fixant les extrémités d'un diamètre situé à 90° du longrain, le son était le *mi* au-dessus du *la* normal. Les lignes nodales correspondant à ces divers sons étaient des ellipses, dont le grand axe, parallèle au diamètre fixé par ses deux bouts, était au petit axe dans le rapport 1,065; je mentionnerai encore des expériences que j'ai commencées sur des cristaux de feldspath orthose (adulaire des États-Unis). J'ai fait tailler un disque d'orthose parallèlement à la base des cristaux. Lorsqu'on fixe les extrémités du diamètre parallèle à la diagonale inclinée de la base, ou, si l'on aime mieux, à l'intersection de cette base et du plan de clivage perpendiculaire (g^1 des cristallographes), on obtient une certaine note (le troisième *sol* dièse au-dessus du *la* normal dans mon expérience); en fixant les deux extrémités du diamètre à 45° du précédent, le son baisse (troisième *ré* dièse); en fixant les extrémités du diamètre perpendiculaire au précédent, à la trace du plan de clivage g^1 sur la base, on observe que le son est encore plus grave (troisième *do* dièse). Il semblerait donc que l'élasticité est plus faible ici parallèlement que perpendiculairement au plan de clivage. Or la chaleur se propage moins facilement aussi parallèlement que perpendiculairement à ce plan, ce qui est le contraire de ce que j'ai vu jusqu'ici dans les corps qui se clivent, excepté dans le calcaire, sur lequel je poursuis en ce moment des recherches du même genre.

J'ai enfin expérimenté sur un disque de cuivre, après y avoir fait graver des stries peu profondes, parallèles et distantes de 1^{mm}; en vain j'ai maintenu fixes, tantôt les extrémités du diamètre parallèle, tantôt celles du diamètre perpendiculaire aux stries, j'ai toujours obtenu, en l'ébranlant par le centre, et le même son et la même ellipse, invariablement allongée parallèlement aux stries.

J'ai fait graver sur un autre disque deux systèmes de stries beaucoup plus profondes, rectangulaires entre elles et distantes de 1^{mm} dans l'un des systèmes, de 2^{mm} dans l'autre. Ici, tout a changé. En fixant deux points sur la strie du premier système passant par le centre, j'ai entendu le deuxième *do* dièse au-dessus du *la* normal; c'est la direction de plus grande élasticité du disque.

En fixant deux points pris sur la strie diamétrale du second système, à la même distance du centre que les précédents, j'ai vu que le son s'était élevé : c'était le deuxième *mi* au-dessus du *la* normal.

Un disque marqué ainsi de deux systèmes différents de stries se rapproche bien plus du réseau cristallin que celui de Savart, où les stries sont légères et suivent une seule et même direction.

Conclusion. — Des expériences précédentes, je me crois autorisé à conclure que la droite qui réunit les deux points fixés du disque dont on ébranle le centre, quand il rend le son le plus aigu, est parallèle à l'axe de plus facile propagation de la chaleur. Cette ligne correspond dans le gypse, dans le cuivre strié, dans l'ardoise, au maximum d'élasticité. Dans le quartz, ce serait la projection des maxima d'élasticité de Savart sur l'axe le plus proche, c'est-à-dire sur l'axe de symétrie cristallographique.

Divisibilité de la lumière électrique ; par M. Jablochkoff.

Dès les premiers essais faits sur la bougie de mon invention qui est employée dans l'éclairage électrique, j'ai reconnu que, si l'on obtenait avec celle-ci une lumière plus continue qu'avec les charbons maintenus à distance convenable par le régulateur, et si en même temps on pouvait produire plusieurs foyers lumineux, ce double résultat était dû à l'action du courant sur la matière isolante interposée entre les deux charbons dont je me sers. L'arc valtaïque, en mettant en fusion cette substance, établissait pour le courant, entre les deux pointes de charbon, une sorte de passage beaucoup plus facile que quand l'isolateur était à l'état solide. L'expérience démontra qu'en donnant au courant de la machine une certaine tension, la distance que ce courant pouvait franchir sur cette sorte de conducteur liquide devenait assez considérable pour créer un nombre de foyers lumineux relativement très-élevé. C'est ainsi que j'obtins jusqu'à huit bougies brûlant à la fois sur le circuit d'une seule machine à courants alternatifs du type le plus ordinaire.

Dès lors j'ai été conduit à essayer l'effet des étincelles produites par un courant de grande tension sur les corps réfractaires.

En introduisant dans le circuit central de la machine le fil intérieur d'une série de bobines d'induction, et faisant passer l'étincelle provenant du courant induit sur une lame de kaolin placée simplement entre les deux extrémités du fil extérieur de chaque bobine, j'ai vu alors que, bien que le courant n'eût pas une intensité suffisante pour faire entrer en fusion le kaolin interposé, il chauffait celui-ci au point de le rendre incandescent.

On fait passer d'abord le courant sur une sorte d'amorce plus conductrice, disposée sur le bord de la lame de kaolin. La partie de la plaque qui est chauffée de la sorte donne une ligne qui devient un conducteur très-résistant et qui, au passage d'un courant de forte tension, rougit au blanc en émettant une belle lumière. Il se produit sur toute cette longueur une certaine consommation de kaolin, mais cette consommation est très-faible. La plaque de kaolin soumise à l'action du courant s'use sur toute sa partie éclairée à raison d'environ 1 millimètre par heure.

Le résultat que l'on obtient ainsi entre les deux extrémités du fil de la bobine est une magnifique bande lumineuse qui peut atteindre une longueur beaucoup plus grande que l'étincelle d'induction ordinairement produite par la bobine que l'on emploie. Mais cette bande lumineuse, au lieu d'être non éclairante comme l'étincelle d'induction, est un foyer permanent donnant une lumière aussi douce et plus fixe qu'aucune lumière connue, non-seulement électrique, mais d'usage courant. Quant à sa puissance, elle ne dépend que du nombre des spires et du diamètre des fils des bobines employées.

Comme on peut placer un très-grand nombre de bobines dans le circuit, et que sur chaque bobine on peut diviser en plusieurs sections éclairant séparément une bande de kaolin de longueur convenable, on arrive de la sorte à la divisibilité complète de la lumière électrique. J'ai pu obtenir très-aisément cinquante foyers lumineux d'une intensité variable.

Dans mes expériences, j'ai employé des bobines de diverses grandeurs. L'intensité du foyer correspondant à chacune d'elles varie naturellement avec la dimension de la bobine. J'ai échelonné les intensités des divers foyers, de manière à avoir une autre série gra-

duée de bandes lumineuses dont les plus faibles donnaient une lueur de un ou deux becs, et les plus fortes une lumière d'une quinzaine de becs de gaz.

En employant les courants alternatifs, on peut supprimer l'interrupteur et le condensateur des bobines ; alors le système total de distribution des courants se réduit à une artère centrale représentée par la série des fils intérieurs de la bobine, sur laquelle viennent s'embrancher autant de conducteurs distincts que l'on place de bobines sur le circuit. Chaque foyer lumineux est donc parfaitement indépendant et chacun d'eux peut s'éteindre ou s'allumer séparément. La distribution d'électricité dans un bâtiment à éclairer devient alors analogue à la distribution du gaz, et dans l'usine spéciale que nous construisons les grands espaces seront éclairés par les bougies, et les bureaux et corridors par les bandes lumineuses.

Les appareils d'éclairage des petits locaux sont d'une simplicité frappante. Ils se réduisent, en effet, à une simple pince retenant une lame de porcelaine qui, avec une longueur de 1 centimètre, peut brûler toute la nuit.

En résumé, les résultats que j'ai fait connaître aujourd'hui, et dont je ne crains pas de m'engager à fournir incessamment la démonstration pratique, sont les suivants : 1° divisibilité complète de la lumière électrique ; 2° fixité absolue de cette lumière divisée ; 3° possibilité de distribuer en toutes proportions et en tous points d'un lieu à éclairer les grandes, petites ou moyennes lumières ; 4° suppression des charbons pour les petites et moyennes lumières.

Lanterne de projection et mégascope ; par M. Léon Laurent.

(Séance du 6 avril.)

Cette lanterne est construite pour contenir le régulateur Serrin, mais elle peut recevoir aussi le régulateur Foucault, le chalumeau, etc.

Le régulateur Serrin est, comme on sait, un bon appareil,

fonctionnant avec une grande régularité; beaucoup de personnes le préfèrent aux autres régulateurs, mais jusqu'ici, cependant, il n'était pas encore employé dans les Cours pour les projections, et cela à cause de sa disposition qui ne lui permet pas d'entrer dans les lanternes de projections en usage. Il lui fallait nécesairement une lanterne spéciale avec une disposition particulière, permettant de monter ou baisser, à volonté, le point lumineux, tout en lui conservant un mouvement horizontal, perpendiculaire au faisceau lumineux.

J'ai cherché à réaliser le modèle représenté par la figure ci-contre. Le régulateur se pose sur la plaque E′ (*fig.* 1), mobile autour du centre *e′* : elle sert à faire mouvoir le point lumineux suivant l'axe du faisceau lumineux.

Cette plaque E′ repose sur la plaque E, mobile autour du centre *e*, laquelle sert à déplacer le point lumineux, horizontalement et perpendiculairement au faisceau lumineux.

Dans la pratique des projections, on sait qu'il est indispensable de pouvoir centrer le point lumineux : on y arrive très-commodément au moyen de deux mouvements, l'un vertical, l'autre horizontal et perpendiculaire au faisceau lumineux.

Le mouvement vertical s'obtient au moyen de la vis D. Quand on opère sur le devant de la lanterne, le mouvement horizontal se fait avec la plaque E, mobile autour de *e*. Quand on opère sur le côté, il se fait avec la plaque ou le socle E′, mobile autour de *e′*.

Cette combinaison des deux plaques E et E′ possédant deux mouvements horizontaux perpendiculaires entre eux présente, en outre, l'avantage pratique suivant.

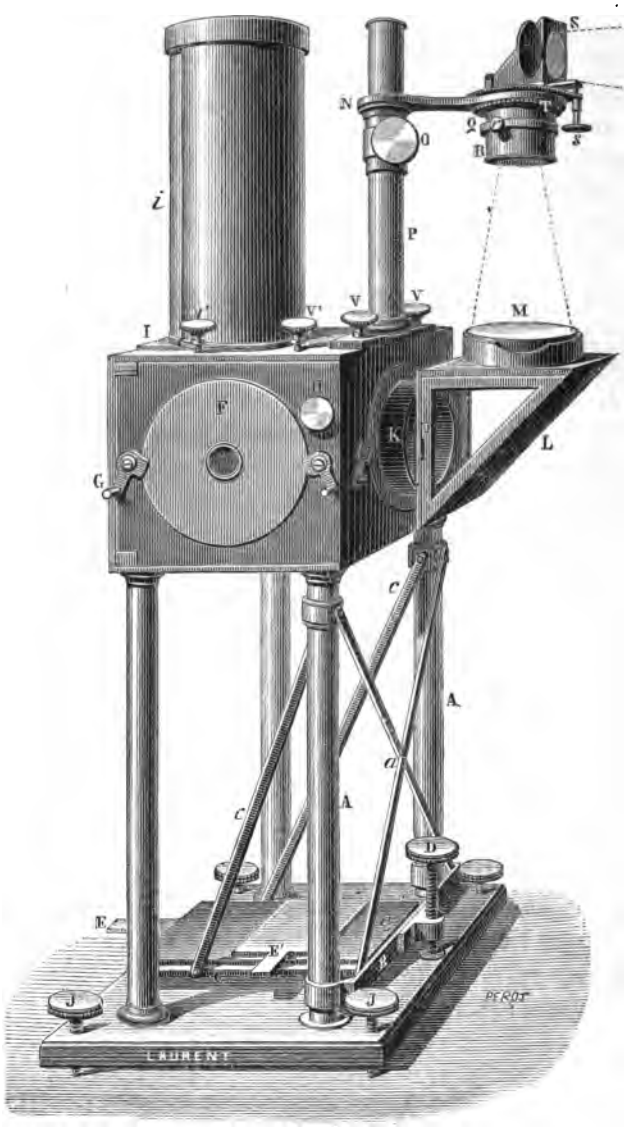
Si l'on opère sur le devant de la lanterne, le socle ou plaque mobile E′ permet d'approcher ou de reculer le point lumineux des lentilles éclairantes et de se placer ainsi, pendant l'expérience et sans déranger les appareils, au maximum d'éclat ou d'uniformité.

Quand on opère sur le côté, c'est la plaque E, mobile autour de *e*, qui sert à cet usage.

Le système des deux plaques E et E′ fait partie d'un chariot A, B, C, rigide et mobile verticalement; il sert à monter ou baisser le point lumineux, afin de le centrer et de rendre le faisceau lumineux plus ou moins horizontal. Il glisse le long des deux colonnes de devant et porte une vis, qui s'appuie sur le socle de la

lanterne et qui sert à faire mouvoir le régulateur pendant qu'il est en expérience.

Fig. 1.



Les différentes bonnettes ou appareils qui se fixent sur le devant de la lanterne peuvent aussi se fixer sur le côté ; cela se fait au moyen

de forts taquets: j'ai renoncé au système des grands pas de vis, si incommodes dans la pratique où, il faut opérer vite et sûrement.

L'ouverture et la fermeture de la lanterne et celle de la cheminée se font par un seul mouvement.

Cette lanterne peut servir pour tous les cas et, dans celui où l'on emploie le régulateur Foucault, le mouvement vertical dû à la vis D est très-utile pour monter ou descendre le point lumineux, sans toucher au régulateur ni déranger les appareils en expérience.

La lanterne présente une nouvelle disposition, tenant lieu d'appareil à projeter les photographies et d'appareil à projeter les corps liquides ou placés horizontalement.

L'appareil se compose de deux parties: la partie éclairante et la partie objective.

La partie éclairante se compose d'une boîte prismatique L, renfermant des lentilles, et une glace argentée; inclinée à 45°, elle s'adapte à volonté sur le devant ou sur le côté de la lanterne.

La partie objective se compose d'un prisme argenté et d'un objectif achromatique, mobiles le long de la colonne P. Cette colonne se place sur le devant ou sur le côté de la lanterne : on peut l'y laisser, elle ne gêne pas.

La disposition du mégascope dispense de l'emploi, souvent gênant, des manches destinés à contenir les photographies; on peut placer, en M, de grandes photographies et les faire glisser. Cet appareil a été très-utile pour projeter, au cours d'acoustique de M. Jamin, à la Sorbonne, des bandes de verre noircies au noir de fumée et sur lesquelles des diapasons avaient tracé différents mouvements vibratoires.

Il arrive souvent que l'on a à intercaler des projections de photographies parmi des expériences avec les différents appareils de Physique, afin de montrer la disposition de l'expérience ou la description des appareils ou des tableaux, etc.; cette lanterne se prête, avec une grande facilité, à ces expériences : il suffit, en effet, de laisser le mégascope en place, sur le côté de la lanterne et de garder le devant pour les expériences; on n'a alors qu'à boucher le devant par exemple et à ouvrir le côté, ou réciproquement.

Ce système de mégascope peut aussi s'appliquer au porte-lumière solaire, ainsi qu'aux lanternes en usage.

SÉANCE DU 18 MAI 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Cadiat, à Paris ; Clérat, Sous-Inspecteur des lignes télégraphiques ; Dumoulin-Froment, constructeur d'instruments de précision.

M. Rolland expose les recherches qu'il a faites sur la résistance des éléments thermo-électriques de Clamond, en appliquant la méthode de Thomson.

M. Tommasi présente un nouveau système de télégraphie électrique, applicable surtout aux correspondances qui exigent l'emploi des câbles sous-marins de très-grande longueur.

M. Antoine Bréguet annonce que M. Ciccardi a imaginé un double relais dans lequel les contacts sont produits par des aiguilles aimantées venant toucher des gouttes de mercure, et où le manipulateur peut envoyer des courants de sens contraires. Ce système a été essayé sur le câble transatlantique.

M. Mouton présente une lunette spectroscopique de M. Lutz destinée à l'observation des étoiles. Le nouveau spectroscope est de petites dimensions et très-portatif; on peut l'adapter à toutes les lunettes. Il se compose essentiellement d'une petite lunette contenant un ou plusieurs prismes à vision directe entre l'oculaire et l'objectif; près de l'objectif et en dehors est la fente. Enfin, au delà de la fente, est une lunette cylindrique qui produit sur la fente une image réelle linéaire de l'étoile. En résumé, le collimateur est supprimé et l'objectif du spectroscope projette simplement, dans l'oculaire, l'image de la fente. La perte de lumière est donc moindre que dans les spectroscopes ordinaires.

Sur la résistance intérieure des éléments thermo-électriques, par M. L. Rolland.

Lorsque l'on met en marche une pile thermo-électrique de dimensions un peu considérables, l'intensité du courant produit

n'atteint une valeur à peu près fixe qu'au bout d'un temps variable avec la masse de la pile, mais toujours assez long.

Je me suis proposé de chercher quel rôle joue dans cette variation générale le changement de résistance intérieure de la pile, changement qui est inévitable, puisque la conductibilité d'un métal est fonction de la température.

Je me suis servi, pour mesurer ces résistances, du procédé suivant (1). L'un des pôles de la pile arrive dans un godet de mercure en communication avec un rhéocorde de Poggendorff; de là, le courant se rend dans un galvanomètre de Weber, après avoir passé par un shunt qui permet de régler à volonté la sensibilité du galvanomètre. L'autre pôle arrive dans un autre godet en relation directe avec le galvanomètre.

Enfin deux autres godets, placés sur le passage du courant, permettent d'introduire telle dérivation que l'on veut à l'aide d'une boîte à résistance (2). Cela posé, le rhéocorde était mis à un chiffre b, on fermait le courant, on observait la déviation du galvanomètre; on introduisait une dérivation s, la déviation diminuait, et on la ramenait à être ce qu'elle était en diminuant la longueur du rhéocorde : soit b' la nouvelle longueur; on avait alors

$$s = \frac{b - b'}{b'},$$

équation qui exprime R en mêmes unités que s (3).

Mes premières recherches ont porté sur des piles Clamond. La pile étant soigneusement entourée d'écrans en cuivre pour éviter les moindres courants d'air, je mettais en marche un chronomètre à pointage, j'allumais le feu et je déterminais la résistance

---

(1) L. Mouton, *Journal de Physique*, t. V, p. 144.

(2) Les dérivations introduites à l'aide de cette boîte étaient exprimées en mètres de fil télégraphique français; on sait que le kilomètre de ce fil vaut environ 10 Siemens.

(3) La véritable formule serait $R = s\frac{b - b'}{b' + G}$, G étant la résistance du galvanomètre; quand le courant est assez fort pour permettre d'introduire au shunt une dérivation convenable, G est négligeable. Dans le cas contraire, on l'élimine par deux déterminations simultanées en faisant varier s.

C'est ainsi que j'ai opéré pour un élément formé par des tiges de fer et cuivre d'environ $0^m,003$ d'épaisseur.

de minute en minute pour chacune des piles partielles d'abord, puis je les accouplais en tension et enfin en quantité. Je suivais ainsi les résistances pendant quarante minutes; la pile étant alors portée au rouge-cerise, je suivais les résistances pendant le refroidissement. Les courbes que j'obtenais avaient pour abscisses les temps et pour ordonnées les résistances. J'ai étudié dans des conditions identiques trois piles Clamond; les courbes ont été sensiblement analogues.

Ces expériences m'ont confirmé dans l'opinion que j'émettais plus haut. La courbe des résistances oscille continuellement; sa marche, d'abord assez irrégulière, ne devient à peu près normale qu'au bout d'une vingtaine de minutes; alors elle ne présente plus que de légères irrégularités, et se fixe bientôt à une hauteur qu'elle conserve pendant environ dix minutes.

Lorsque la pile se refroidit, la courbe oscille encore assez irrégulièrement en décroissant. J'ai observé que, pendant les trois ou quatre minutes qui suivaient l'extinction du feu, la résistance mesurée comme il a été indiqué semblait augmenter brusquement; mais il faut bien remarquer que la méthode suivie suppose essentiellement la constance de la force électromotrice pendant le couple d'expériences nécessaires à la détermination de chaque résistance. Or il se pourrait qu'au moment de l'extinction du feu, la force électromotrice variant très-vite, la méthode cessât d'être applicable.

Enfin j'ai étudié une pile thermo-électrique, fer et cuivre; une partie des soudures plongeait dans un bain de glace fondante, l'autre dans un bain échauffé par un serpentin en cuivre où passait de la vapeur. Les courbes construites en prenant pour abscisse la moyenne des températures indiquées par trois thermomètres et pour ordonnées les résistances présentent une marche analogue à celles précédemment étudiées.

Nouveau relais; par M. Tommasi.

Le principal mérite, on pourrait dire le mérite caractéristique de cet appareil, consiste surtout dans son extraordinaire sensibilité, qui

lui permet d'agir sous l'influence des plus faibles courants, malgré les résistances, même très-considérables, que ces courants doivent vaincre pour arriver jusqu'à lui.

Cette sensibilité est due principalement à la disposition de l'électro-aimant, entre les pôles duquel pivote un petit barreau aimanté qui, tout en restant parallèle aux faces des deux pôles dans l'état de repos, tourne instantanément à droite ou à gauche dès qu'un courant positif ou négatif traverse l'électro-aimant. Il résulte des expériences que le courant d'une pile de cinq éléments Minotto, *après avoir traversé une planche de bois sec de* 20^c *de longueur,* est suffisant pour que le barreau dévie de plus de 20°.

Ce *relais* est également applicable au système *Morse* et au système *Hughes*, sur les fils aériens comme sur les câbles sous-marins, et il peut agir aussi bien en *simple* qu'en *duplex*.

Le *relais Tommasi* a été présenté par l'inventeur à la Société française de Physique, le 18 mai 1877, lorsque cet appareil était encore à l'état de simple appareil de démonstration. Néanmoins on put y contater que le courant d'un seul élément *Minotto,* après avoir traversé une bobine dont la résistance était égale à 4200^{km} de fil de cuivre de 4^{mm} de diamètre, mettait en mouvement un *Morse* à double électro-aimant dont les molettes convergeaient l'une à côté de l'autre sur le même point de la même bande de papier, l'une imprimant des points ou des traits bleus lorsque le courant envoyé dans le *relais* était négatif, et l'autre imprimant des points ou des traits rouges lorsque le courant envoyé dans le *relais* était positif, la vitesse moyenne étant de 200 points ou traits par minute.

Les expériences faites avec ce même appareil, au Bureau central des lignes télégraphiques à Paris, sur les fils aériens ont démontré que, sur un parcours de presque 5000^{km} de fil de fer, dont 280^{km} de fil souterrain, le courant d'un seul élément Minotto était suffisant pour que le *relais Tommasi* mît en marche un récepteur *Morse;* mais, et c'est là encore une nouvelle preuve de la grande sensibilité du relais en question, on fut bientôt forcé de retirer à cet appareil une partie de sa sensibilité pour l'empêcher de transmettre au *Morse* les courants des autres fils suspendus aux mêmes poteaux que le fil servant à cette expérience, ce qui força naturellement à porter la puissance de la pile à dix éléments.

Ces résultats obtenus, M. Tommasi a fait construire un modèle

pratique de son relais qui a été expérimenté à Marseille sur le câble de l'État, entre cette ville et Alger.

Le résultat de ces expériences a été que, avec le *relais Tommasi*, un seul élément était suffisant à faire fonctionner un *Morse*, et qu'avec trois ou quatre éléments on pouvait faire fonctionner un *Hughes* avec la vitesse moyenne de vingt-deux mots par minute.

Il faut remarquer que le *Hughes* d'Alger, n'étant pas à renversement de courant, ne pouvait envoyer dans le câble que toujours le même courant et que, pour le décharger, M. Tommasi fut forcé d'arranger son relais de manière à obtenir que ce dernier envoyât automatiquement un courant négatif de Marseille à Alger après chaque courant positif qu'Alger envoyait à Marseille. Cette disposition, suffisante tout au plus comme *pis-aller*, était loin d'être satisfaisante au point de vue de la régularité et de la vitesse du fonctionnement des appareils comparativement à la vitesse et à la régularité qu'on aurait obtenue si le *Hughes* d'Alger eût été disposé pour envoyer régulièrement un courant négatif après chaque courant positif.

Il est à remarquer aussi que, pour faire fonctionner le *galvanomètre-miroir Thomson*, on emploie ordinairement entre Alger et Marseille huit éléments en *simple* et douze en *duplex*.

SÉANCE DU 1er JUIN 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Maumené, chimiste ; Bobileff, docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg ; Borgman, attaché au laboratoire de Physique de Saint-Pétersbourg ; Hesehus (N.), attaché au laboratoire de Physique de Saint-Pétersbourg ; Lermontoff, attaché au laboratoire de Physique de Saint-Pétersbourg ; Van der Vlit, privat-docent de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg.

M. Cazin expose les recherches qu'il a faites sur le spectre de l'étincelle électrique dans l'azote, à diverses pressions.

M. Cazin montre, par projection, quelques-uns des clichés qui établissent ces faits et d'autres qui s'y rattachent.

M. Mouton fait fonctionner un spectroscope stellaire, de M. Lutz, disposé de manière à faire voir le spectre d'une flamme éloignée.

Sur le spectre de l'étincelle électrique dans un gaz comprimé; par M. A. Cazin.

Je conclus de mes expériences que l'étincelle électrique dans un gaz contient des particules gazeuses incandescentes qui produisent un spectre de lignes, et des particules solides ou liquides qui produisent un spectre continu : les premières proviennent du milieu gazeux et des électrodes, et les secondes sont arrachées aux électrodes ou aux parois voisines de l'étincelle. C'est dans le trait du feu que sont rassemblées les particules solides ou liquides; l'auréole est formée surtout par les particules gazeuses. Cette auréole est à l'étincelle totale ce que la base bleuâtre de la flamme d'une bougie est à la flamme entière.

Quand la pression croît, les particules solides ou liquides deviennent plus abondantes, et leur spectre continu prédomine; il finit par empêcher que l'on distingue le spectre linéaire de la partie gazeuse. Quand on observe à la vue, comme l'ont fait MM. Wüllner, Frankland, Lockyer, Cailletet, il semble que les lignes spectrales s'épanouissent de plus en plus, et qu'elles se rejoignent finalement. Mais, s'il est vrai que les lignes gazeuses s'estompent notablement, il me paraît inexact de dire qu'elles se rejoignent, et que la continuité apparente du spectre de l'étincelle à haute pression résulte de l'épanouissement indéfini de ces lignes.

Mes premières expériences ont été communiquées en mai 1876 à la Société Philomathique; j'observais l'étincelle à la vue, à l'aide d'un spectroscope ordinaire. J'ai fait cette année une seconde série d'expériences photographiques qui ont été communiquées le 12 mai à la même Société (1) et le 21 mai à l'Académie des Sciences (2).

---

(1) *Bulletin de la Société Philomathique de Paris*, 7e série, t. I, n° 2.
(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1877.

Première série. — Le gaz azote est comprimé dans un tube de verre à l'aide d'une sorte de piézomètre à mercure. Un fil de platine est soudé à l'extrémité effilée de ce tube ; un second fil semblable est maintenu dans l'intérieur du tube, parallèlement au premier, à l'aide d'un fil de fer qui plonge dans le mercure de l'appareil. Une grosse bobine de Ruhmkorff produit l'étincelle entre les deux fils de platine, et cette étincelle est projetée par une lentille sur la fente du spectroscope.

A la pression ordinaire, l'étincelle est pâle et sillonnée d'un grand nombre de petits traits de feu (étincelle composée). Au spectroscope, on distingue sur les fils les cannelures attribuées à l'azote, et dans leur intervalle les lignes brillantes caractéristiques de ce gaz. Quand la pression croît, les cannelures s'évanouissent graduellement, les lignes deviennent de plus en plus diffuses ; le fond continu du spectre devient assez brillant pour que l'on cesse de distinguer plusieurs lignes du gaz. A partir de 2^{atm}, on ne voit plus que six lignes de l'azote, de l'orangé au bleu, et cinq bandes diffuses au delà. On remarque aussi que le nombre des traits de feu qui composent la partie brillante de l'étincelle a augmenté. A 10^{atm}, il ne reste que deux lignes de l'azote, $\lambda_1 = 567$ et $\lambda_2 = 500$; une ligne très-brillante est apparue dans le violet, $\lambda_3 = 424$. La raie du sodium est aussi très-vive, tandis qu'on ne la voyait pas à la pression ordinaire. Cela met en évidence le rôle de la paroi du tube. Vers 15^{atm}, l'étincelle devient éblouissante. Sur le spectre continu, on entrevoit les quatre lignes précédentes et quelques points brillants entre les deux premières, qui sont au bord du spectre, au voisinage des électrodes : ce sont les raies du platine. On a poussé l'expérience jusqu'à 40^{atm} sans cesser de distinguer ces particularités.

Quand on laissa le gaz revenir à la pression ordinaire, le spectre reprit son aspect primitif, mais la raie du sodium persista sur l'électrode négative. Quand on renversait le sens du courant, cette raie passait instantanément d'une électrode à l'autre, comme si un composé du sodium eût été électrolysé par la décharge.

Je signalerai encore l'observation suivante, qui est intéressante à un autre point de vue. En opérant sur l'air, on a vu les vapeurs de l'acide hypoazotique se former abondamment à partir de 30^{atm}, et le spectroscope a montré le spectre d'absorption de ces vapeurs,

avec un éclat remarquable, bien que l'épaisseur de la couche absorbante ne fût que de 2 ou 3^{mm}.

Deuxième série — L'observation directe des spectres d'étincelle est très-fatigante pour la vue ; il est impossible d'en saisir tous les détails et de les reproduire sur un dessin exact. Les effets d'irradiation troublent la vision et empêchent d'apprécier l'état réel des spectres. La Photographie lève ces difficultés. J'ai obtenu des clichés assez délicats pour se prêter à des mesures précises, et ils m'ont fourni une démonstration frappante de la proposition que j'ai énoncée.

Mon appareil se compose d'un spectroscope ordinaire à un seul prisme de flint, où l'oculaire est remplacé par une petite chambre noire. J'ai eu recours au collodion tantôt humide, tantôt sec ; la durée de pose variait de un quart d'heure à une heure, suivant l'éclat des étincelles. Le spectre est photographié de la raie F à la raie M, avec une intensité remarquable entre les raies G et L. J'ai reconnu les raies du spectre en photographiant sur la même plaque l'un à côté de l'autre le spectre solaire et le spectre de l'étincelle, et ayant recours aux planches d'Angström et à celles de MM. Mascart et Cornu pour l'ultra-violet.

L'un des clichés, obtenu à la pression ordinaire, dans l'azote, avec une étincelle condensée par neuf jarres électriques, et jaillissant entre deux petites boules de platine, contient soixante-seize lignes, dont voici les principales dans la région GH. L'intensité relative des raies varie de 1 à 6.

*λ = 434,8	5 diffuse	λ = 411,8	5 (double)
432,5	3	411,0	3
431,4	4	410,2	4
429,9	2	*409,5	4
428,7	2	407,6	4
427,4	4 diffuse	406,9	4 (double)
*423,8	6 diffuse	x 406,5	3
422,0	4	x 406,2	3
420,7	3	405,7	2
419,1	3	x 404,9	5
*417,5	4 diffuse	*404,2	5
x 416,2	4 (2 au milieu)	403,5	4
415,2	4	x 402,6	3
414,3	4	*399,6	6
413,1	4	398	2

Les raies désignées par un astérisque ont déjà été signalées comme propres à l'azote, les unes par M. Huggins, les autres par M. Salet. Les autres n'ont pas encore été observées. Parmi celles-ci, celles qui sont désignées par la lettre x ne se sont pas produites dans l'air avec des boules d'étain. Toutes les autres sont communes aux deux spectres, et par conséquent appartiennent à l'azote ou à l'hydrogène, à cause d'une dessiccation incomplète. La plupart des raies x sont plus intenses aux extrémités qu'au milieu. Le spectre obtenu avec des boules d'étain a montré que les raies des électrodes présentent cette particularité. C'est en plaçant l'étincelle parallèlement à la fente du spectroscope qu'on rend cet effet plus apparent. On doit donc attribuer les raies x au platine. Cette particularité des raies des électrodes me paraît explicable par le *renversement*. Au voisinage des électrodes, si l'étincelle est parallèle à la fente, et dans l'auréole, si l'étincelle est perpendiculaire, la vapeur métallique produit les raies d'émission. Au contraire, au milieu de l'étincelle, le trait de feu formé par des particules solides ou liquides produirait, s'il était seul, un spectre continu; comme il est entouré de vapeur métallique, celle-ci donne lieu aux raies d'absorption.

Les expériences photographiques que je viens de décrire garantissent l'exactitude de cette méthode expérimentale, et, comparées à l'expérience suivante, elles confirment la proposition fondamentale qui est l'objet de ce travail.

L'étincelle étant perpendiculaire à la fente, on a sur la photographie des lignes courtes et des lignes longues, qui dépassent de chaque côté la bande spectrale moyenne.

A la pression de 1^{atm}, les lignes de l'azote s'étendent de part et d'autre de la région moyenne impressionnée par une faible lumière continue; elles ont sur toute leur longueur une admirable netteté, puisqu'on peut en mesurer plus de trente dans l'espace de 3^{mm}.

On répète une expérience semblable à 8^{atm}; la région moyenne du spectre est tout à fait continue, et l'on y distingue à peine les raies du gaz; mais celles-ci s'étendent de part et d'autre, comme dans le spectre précédent, et conservent leur finesse. C'est exactement l'effet que produirait un trait de feu formé par des poussières solides, et entouré d'une auréole de gaz lumineux.

Dans toutes ces expériences photographiques, le gaz était contenu dans un cylindre de cuivre de 10c de diamètre, muni d'une glace, à travers laquelle les rayons de l'étincelle se rendaient au spectroscope. Ils étaient concentrés sur la fente par une lentille achromatique. L'étincelle éclatant loin des parois, leur influence est complétement évitée.

Le spectre ultra-violet de l'azote s'étend très-loin quand on dispose un prisme et des lentilles de quartz dans le spectroscope. Il atteint presque la longueur de celui du cadmium, que M. Mascart a mesuré exactement. Je m'occupe de la détermination de ce spectre, ce qui est relativement facile, maintenant que le travail de M. Mascart fournit les longueurs d'onde des principales raies du cadmium.

SÉANCE DU 15 JUIN 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Ribail (Xavier), ingénieur de la traction au chemin de fer de l'Ouest ; Ziloff, professeur de Physique à Moscou ; West (Émile), ingénieur chimiste au chemin de fer de l'Ouest.

M. Niaudet présente une pile au bichromate de potasse de M. Camacho.

M. Émile Reynier présente un nouveau régulateur électrique.

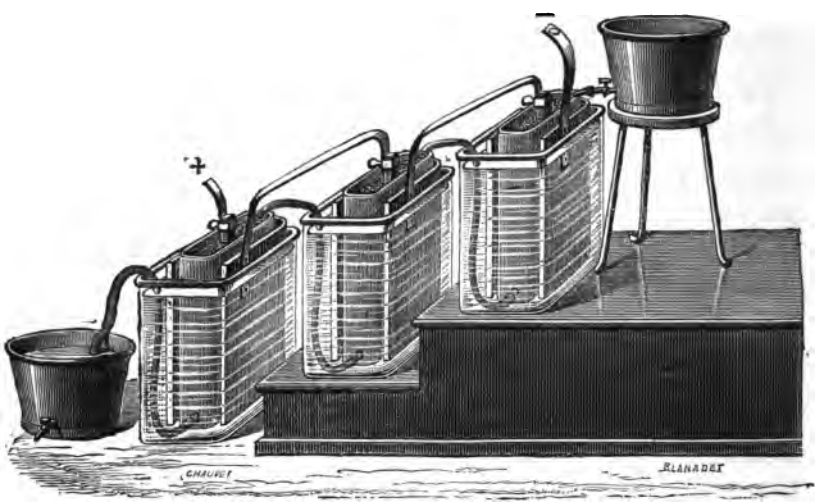
M. Marié-Davy informe la Société qu'après avoir réuni à l'Observatoire de Montsouris les instruments d'observation directe, il installe, cette année, les enregistreurs du magnétisme terrestre, de l'électricité atmosphérique, de la température, du degré hygrométrique, du degré actinométrique, de la température du sol au soleil et à l'ombre, de la direction, de la vitesse et de la pression du vent, de l'évaporation. Ces divers instruments seront soumis successivement à l'appréciation de la Société. M. Marié-Davy présente l'évaporomètre construit par M. Salleron.

Pile de M. Camacho; par M. A. Niaudet.

Cette pile est au nombre de celles dans lesquelles la dépolarisation est obtenue par un mélange d'acide sulfurique étendu et de bichromate de potasse; ces deux substances, en agissant l'une sur l'autre, produisent de l'oxygène, et, par conséquent, leur mélange peut absorber l'hydrogène qui, autrement, se dégagerait sur l'électrode négative.

Si cette production d'oxygène avait lieu à la température ordinaire, la pile serait parfaitement dépolarisée, comme la pile de Grove ou celle de Daniell; mais il n'en est rien, et il faut chauffer le liquide en question pour lui faire rendre de l'oxygène.

Il résulte de là que la pile (à la température ordinaire) n'est que partiellement dépolarisée par le procédé chimique indiqué.



M. Camacho, pour suppléer à l'imperfection inévitable de ce genre de pile, a donné un énorme développement à la surface de l'électrode négative. Il l'a composé d'une plaque de charbon et d'une quantité considérable de fragments de charbon, qui emplissent le vase poreux choisi exprès de grande dimension. L'avantage des fragments de charbon ainsi employés avait été indiqué par

M. Gaugain dans des études sur les piles qu'on trouvera dans les *Annales télégraphiques*. M. Camacho en a fait une très-bonne application.

Pour diminuer encore la polarisation de la pile, M. Camacho a imaginé d'agiter le liquide en le faisant circuler. On sait, en effet, qu'on dépolarise notablement un élément en agitant le liquide autour de l'électrode négative. Pour atteindre ce résultat, M. Camacho place ses éléments sur des gradins (la figure n'en indique que trois, mais on peut les mettre par séries de cinq); le liquide, versé à la partie supérieure du premier vase poreux en haut, en sort par un siphon attaché à la partie inférieure du même vase et coule goutte à goutte à la partie supérieure du second, et ainsi de suite.

M. Camacho donne à ses éléments une dimension telle, que leur résistance est peu considérable.

On sait, d'autre part, que la force électromotrice des piles au bichromate de potasse est supérieure à celle des éléments de Grove ou de Bunsen.

D'où il résulte la possibilité, pour M. Camacho, de faire avec 30 éléments une lumière comparable à celle que fourniraient 50 Bunsen ordinaires.

Nouvelle lampe électrique à rhéophores circulaires obliques; par M. Émile Reynier.

Je me suis proposé de réaliser une lampe électrique fonctionnant vingt-quatre heures.

Pour obtenir ce résultat, avec une lampe à rhéophores rectilignes, il faudrait donner à l'appareil environ 5 mètres de hauteur.

Un semblable régulateur n'étant pas pratiquement réalisable, je me suis trouvé conduit à étudier l'emploi des rhéophores circulaires.

Cet emploi des disques en charbon avait été tenté plusieurs fois, sans succès, par divers inventeurs. L'insuccès provenait de dispositions mécaniques mal appropriées, et surtout de la position respective défectueuse des disques, qui masquaient la plus grande partie de la lumière obtenue.

Ayant disposé autrefois (dans des études sur les lampes électriques hydrostatiques) des rhéophores qui se rencontraient angulairement, j'avais remarqué que, dans ce cas, la plus grande partie de la lumière se trouve émise au sommet de l'angle. J'ai mis à profit cette observation dans la construction du nouvel appareil, et suis ainsi parvenu à supprimer, presque complétement, les occultations jusqu'alors réputées inhérentes à l'emploi des disques.

Enfin j'ai pourvu chaque rhéophore d'un mouvement d'horlogerie spécial. Ces deux moteurs, munis de tourillons, peuvent osciller individuellement avec leurs rhéophores respectifs. L'un d'eux est manœuvré par l'opérateur, pour la mise en place des charbons; l'autre, commandé par un solénoïde intercalé dans le circuit, oscille automatiquement pour mettre en contact, écarter ou rapprocher les charbons en temps opportun.

Un premier modèle est à lumière zénithale; il existe un autre type, émettant la lumière vers le nadir, qui ne diffère de celui-ci par rien d'essentiel.

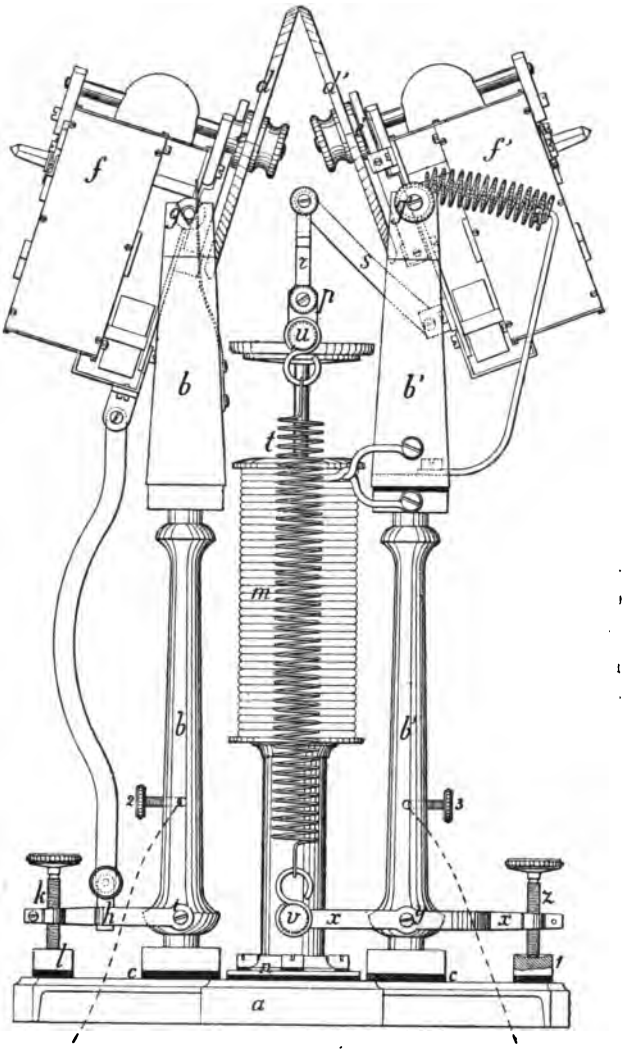
Dans ces appareils, le rhéophore mobile obéit *instantanément* au commandement du solénoïde, dont l'effort magnétique variable est continuellement l'expression de l'énergie du courant. Je pense que cette propriété rendrait possible la *division* d'un courant électrique suffisamment intense dans plusieurs lampes de mon système.

Abordant théoriquement cette question de la divisibilité de la lumière électrique, j'ai démontré :

1° Qu'en faisant usage de lampes électriques basées sur le principe de Foucault, on ne peut pas mettre plusieurs arcs voltaïques en tension sur un même courant, mais qu'on en pourrait mettre plusieurs en dérivation, à la condition que les lampes soient à réglage instantané : cette conclusion ressort des lois de Ohm;

2° Que la somme des lumières obtenues sera voisine de la lumière unique que donnerait le courant total, dépensé sur un seul arc voltaïque, à la condition que les rhéophores soient de très-petite section. Cette deuxième conclusion s'appuie sur une formule de M. Ed. Becquerel, exprimant l'intensité lumineuse d'une surface, en fonction de sa température, et sur l'expression mathématique de l'émission de la chaleur.

Mes lampes électriques étant à réglage instantané, et permettant l'emploi de rhéophores très-minces, doivent donc se prêter avantageusement à la division de la lumière électrique.



LÉGENDE.

a, base de l'appareil. — *bb*, *b' b'*, supports fourchés. — *d*, *d'*, rhéophores circulaires en charbon, animés d'un mouvement de rotation continu par leurs moteurs d'horlogerie respectifs *f* et *f'*. — *g*, *g'*, tourillons sur lesquels peuvent osciller individuellement les ensembles des moteurs *f* et *f'*, et de leurs rhéophores respectifs *d* et *d'*. — *ih*, levier en fourchette relié au moteur *f* par une longue bielle cintrée. — *k*, bouton vissé dans la queue de ce levier, et butant sur un tas *l*. En vissant ou dévissant ce bouton, on fait osciller en avant ou en arrière le moteur *f*, pour la mise en place des charbons.

— *m*, solénoïde commandant un fer doux (invisible sur la figure). Par l'intermédiaire de la tige *p*, de la bielle *r* et du bras *s*, ce fer doux, aspiré de bas en haut, fait osciller en arrière le moteur *f'*, et détermine ainsi l'*écart* du rhéophore *d'*. — *t*, *t*, ressorts amenant *d'* au contact de *d*, pour provoquer l'*allumage*. Ces ressorts, attachés en *u* et en *v*, tirent sur le moteur *f'*, par l'intermédiaire de la bielle *r* et du bras *s*. — *xyx*, levier en fourchette à l'extrémité duquel sont attachés les ressorts. — *z*, bouton vissé dans la queue de ce levier, et butant sur un tas 1. En vissant ou dévissant ce bouton, on tend plus ou moins les ressorts, pour *régler* la lampe. — 2, 3, vis pour serrer les extrémités des fils conducteurs dans leurs trous respectifs.

Évaporomètres et autres appareils enregistreurs de l'Observatoire de Montsouris; par M. Marié-Davy.

Depuis longtemps les météorologistes s'efforcent de suppléer à l'insuffisance des observations directes par l'emploi d'appareils enregistrant automatiquement leurs indications. L'examen des instruments employés montre, malheureusement, qu'il est impossible de leur accorder assez de confiance pour qu'ils dispensent des observations directes.

A mon entrée à l'Observatoire de Montsouris, j'ai dû me préoccuper d'abord d'assurer le service complet des observations. Cette première tâche étant remplie, et un crédit spécial ayant été accordé à cet effet, je consacre l'année actuelle à l'installation des enregistreurs.

Outre le pavillon magnétique aérien, qui renferme le déclinomètre, le bifilaire, la boussole des variations, d'inclinaison et le magnétomètre absolu de Gauss, une cave a été aménagée pour recevoir les enregistreurs de la déclinaison, de la force horizontale et de la force verticale, d'où l'on déduit la force totale et son inclinaison. Un laboratoire de photographie est placé à côté.

Un second pavillon, que la Ville vient de faire élever au milieu de la partie réservée du parc, doit renfermer :

1° Un double enregistreur de l'électricité atmosphérique donnant des indications, non-seulement pendant les temps ordinaires, mais aussi pendant les orages ;

2° Un enregistreur du thermomètre sec et du thermomètre mouillé, donnant la température et la vapeur d'eau ;

3° Un enregistreur des deux thermomètres noir et blanc dans le vide, donnant le degré actinométrique;

4° Un enregistreur de la température de la surface du sol, au soleil et à l'ombre.

Le même pavillon renferme les électromètres d'observation directe de Thomson, de Branly et de Palmieri, ainsi que le photomètre d'Arago, le cyanomètre et l'actinomètre thermo-électriques.

Un troisième pavillon, placé au pied d'un mât de 20^{m} de hauteur, abrite le pluviomètre enregistreur, ainsi que les anémomètres enregistreurs, donnant la vitesse, la pression et les seize directions principales du vent.

Les baromètres enregistreurs, dont un baromètre-balance de grande dimension, sont placés dans l'intérieur de l'Observatoire.

Près de la serre-abri et des cases de végétation sont les évaporomètres, dont un est destiné à l'enregistrement. Il se compose d'une bascule de forme particulière, dont le grand plateau est placé au-dessus de l'appareil, au lieu d'être latéralement au-dessous du fléau. La bascule, le mouvement d'horlogerie, le cylindre d'enregistrement se trouvent ainsi groupés, sous un très-petit volume, dans une caisse vitrée, dont le couvercle est formé par la table portant le vase d'évaporation. Cette première bascule n'a qu'une force de 30^{kg}. Quand elle est chargée, un poids de 1^{gr} ajouté au grand plateau fait mouvoir l'extrémité de l'aiguille de $0^{mm},5$. Cette sensibilité serait trop grande pour l'enregistrement; on la diminue à son gré en plaçant sur le petit plateau de la balance une éprouvette à moitié remplie de mercure, dans lequel plonge un tube de verre fixé aux parties immobiles de l'instrument. Dans les conditions adoptées, 25^{gr} ajoutés sur le grand plateau déplacent l'aiguille de 1^{mm}, dont on peut apprécier le $\frac{1}{10}$; et comme le grand plateau a une surface de $0^{mq},25$, une tranche d'eau évaporée de 1^{mm} de hauteur correspond à 250^{gr} : la bascule permet donc d'apprécier le $\frac{1}{100}$ de millimètre, tout en ayant une course correspondant à une évaporation de 8^{mm} d'eau.

Les usages de cet appareil sont nombreux. En garnissant le plateau supérieur d'une couche de terre nue, on peut étudier la marche de l'évaporation du sol pendant le jour, tout en connaissant à chaque instant la proportion d'eau qu'il conserve; on peut aussi voir comment se comporte un sol sec, en présence de l'air plus ou

moins humide des nuits. La vapeur d'eau condensée ainsi par le sol est loin d'être négligeable; aucune expérience directe ne la fait connaître.

Si le sol, au lieu d'être nu, est planté, ce qui exige un second appareil enregistreur, on pourra suivre dans tous ses détails le phénomène physiologique de la transpiration des plantes, et le comparer à la courbe fournie par l'actinomètre enregistreur. On pourra voir ce que devient l'évaporation des feuilles pendant la nuit, et quelle est l'abondance des rosées qui se déposent à leur surface.

A côté de l'enregistreur se trouve, outre l'évaporomètre Piche, un vase de $0^{mc},25$ rempli d'eau, sur la surface de laquelle flotte une lentille de zinc creuse, dont la tige, en forme de crémaillère, commande le pignon d'une aiguille mobile sur un cercle gradué. La course de l'aiguille est de 3 ou 4^{mm} pour $\frac{1}{10}$ de millimètre d'eau évaporée; l'instrument donne donc le $\frac{1}{100}$ de millimètre : on en fait la lecture 5 fois par jour; mais, jusqu'à présent, l'observation se trouvait interrompue pendant les gelées. L'enregistreur pesant l'eau, au lieu de mesurer sa hauteur, cette interruption sera évitée. Il en est de même des neiges, dont on pourra suivre la chute et l'évaporation.

Des bascules enregistreurs, construites sur le modèle des bascules ordinaires de France, existent déjà dans le laboratoire de M. Grandeau, à Nancy, où elles sont appliquées à l'étude de la nutrition des animaux.

SÉANCE DU 6 JUILLET 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. le Dr Javal, directeur du laboratoire d'ophthalmologie ; Timiriazeff, professeur de Physiologie végétale à Moscou.

M. Angot expose ses recherches sur les dimensions des images photographiques. Il examine l'influence de l'intensité lumineuse de la source, de la durée de pose, de l'état antérieur de la plaque, enfin de l'ouverture de l'objectif qui sert à produire les images.

M. Mascart discute les résultats des expériences de M. Mendeleeff, relatives à la loi de Mariotte pour de faibles pressions. Ces résultats lui paraissent en contradiction avec les expériences de M. Regnault et le phénomène de la réfraction des gaz. Toutefois les recherches de cette nature sont très-délicates, et ce n'est que par l'examen détaillé des expériences qu'il est possible de juger si les méthodes employées permettent de constater avec certitude les écarts très-faibles signalés par M. Mendeleeff.

M. Maurat dit qu'il avait exécuté, dès l'année 1863, sur le même sujet, des expériences qui n'ont pas été publiées, mais dont les résultats ont été communiqués à un grand nombre de physiciens. D'après ces expériences, l'écart de la loi de Mariotte, pour de très-faibles pressions, est bien dans le sens indiqué par MM. Mendeleeff et Kirpitschoff, mais un peu plus grand qu'ils ne l'ont observé.

M. Mascart présente à la Société des courbes représentatives de l'état électrique de l'atmosphère, qu'il a obtenues à l'aide d'un électromètre de Thomson muni d'un appareil enregistreur de M. Rédier ; il fait connaître le mécanisme ingénieux de l'inscription et émet l'opinion que le même mécanisme pourra être utilement adapté aux appareils de mesure les plus délicats, tels que les magnétomètres et les galvanomètres.

Enfin M. Mascart rend compte, en quelques mots, de recherches exécutées par M. Ziloff, pour mesurer la constante magnétique du perchlorure de fer.

Recherches sur la photographie; par M. A. Angot.

On sait depuis longtemps que l'image photographique d'un objet lumineux est dilatée aux dépens des parties obscures ou du champ lui-même, et cela d'autant plus que l'objet est plus vivement éclairé. Pendant longtemps, on s'est borné à attribuer cet

effet à un *cheminement* de proche en proche de l'action chimique, sans plus l'étudier. Les applications que l'on tente actuellement de faire de la Photographie aux mesures de précision, notamment à celles que demande l'Astronomie, rendaient nécessaire l'étude approfondie de ce phénomène.

Le travail qui suit a été effectué dans les caves de l'École Normale supérieure. Grâce à la bienveillance de M. H. Sainte-Claire Deville, j'ai pu mettre à profit toutes les ressources de son laboratoire, et m'installer dans une cave de 90^m de longueur en ligne droite, à côté des appareils qui servaient à la même époque à M. André pour son étude de la diffraction dans les instruments d'Optique.

I. — *Marche des expériences.*

Les images photographiques ont été obtenues sans grossissement, au foyer d'une lunette que la Commission du passage de Vénus a bien voulu mettre à ma disposition, et qui m'avait servi à l'observation même du passage à Nouméa (Nouvelle-Calédonie). L'objectif, de $0^m,13$ d'ouverture, achromatisé par l'écartement des deux lentilles qui le composent, a $3^m,80$ de distance focale. Une longueur de $\frac{1}{500}$ de millimètre, mesurée sur les épreuves photographiques, correspond ainsi à un angle de $0'',109$.

Les épreuves ont été mesurées avec une des machines construites par MM. Brünner, pour la Commission du passage de Vénus, et qui permettent d'évaluer rapidement et avec certitude le $\frac{1}{500}$ de millimètre, quantité bien suffisante pour mes recherches.

L'objet photographié, disposé à environ 87^m de l'objectif, est une source lumineuse formée de deux rectangles égaux séparés par un intervalle obscur. Ces rectangles sont découpés dans une lame métallique que l'on applique sur une plaque de verre dépoli, éclairée par derrière avec une lampe Drummond ou la lumière électrique. On réalise ainsi un éclairement uniforme de l'objet photographié, condition absolument indispensable.

Avec cette disposition on peut obtenir facilement, non-seulement le fait de l'augmentation des images, mais la mesure de cette augmentation en valeur absolue. L'augmentation de dimensions de chaque rectangle lumineux est, en effet, forcément égale à la dimi-

nution de l'intervalle obscur compris entre eux : la somme de ces deux quantités est donc constante et égale à ce qu'elle serait si l'image se formait seulement d'après les lois de l'Optique géométrique. On connaît de plus, par la mesure directe de l'objet photographié, le rapport des intervalles obscur et lumineux. Possédant leur somme et leur rapport, on calcule facilement leurs valeurs pour l'image géométrique : la comparaison avec celles que fournit la mesure directe des épreuves donne, dans chaque cas, et en valeur absolue, l'augmentation des dimensions de l'image ; en outre, la constance de la somme des intervalles obscur et lumineux donne un excellent moyen d'apprécier le degré de précision des expériences.

Pour permettre de juger cette précision, je citerai seulement ici les résultats suivants des mesures de sept images obtenues successivement sur une même plaque daguerrienne, et pour lesquelles on n'a fait varier que la durée d'exposition à la lumière :

	Largeur (en $\frac{1}{100}$ de millimètre)		
Durée de pose.	du rectangle lumineux.	de l'intervalle obscur.	Somme.
10 secondes...	593,5	192,6	786,1
30 » ...	618,5	168,6	787,1
40 » ...	624,0	163,6	787,6
1 minute....	632,6	155,2	787,8
2 »	645,7	141,4	787,1
4 »	656,4	130,0	786,4
7 »	673,8	113,4	787,2

On voit que l'erreur moyenne sur la somme, qui devrait être constante, ne dépasse pas $0^{mm},001$ ($0'',05$). Dans ce qui suit, nous nous bornerons à indiquer l'excès de l'image sur l'image géométrique, calculée comme nous l'avons indiqué plus haut.

II. — *Résultats.*

Les expériences ont montré que la dimension des images varie : 1° avec l'intensité de la lumière ; 2° avec la durée de pose ; 3° avec la sensibilité de la plaque ; 4° avec le diamètre de l'objectif ; 5° avec l'état chimique de la plaque, les phénomènes étant différents si la

plaque a vu ou non le jour avant de recevoir l'impression photographique.

1° *Influence de l'intensité.* — Toutes choses restant égales, l'image augmente à mesure que l'on fait croître l'intensité de la lumière; l'image obtenue est généralement plus grande que l'image géométrique (en supposant un objet lumineux sur fond obscur); mais, pour une intensité assez faible, on peut obtenir une image *plus petite* que l'image géométrique. Le phénomène change de sens si l'on considère l'image d'un objet obscur sur champ lumineux.

Je citerai seulement, comme exemple, l'expérience suivante qui donne l'excès de l'image obtenue sur l'image géométrique calculée, pour des intensités variant de 1 à 38 :

Plaque daguerrienne (*durée de pose, une minute*).

Intensité de la source lumineuse.	Excès de l'image sur l'image géométrique en $\frac{1}{100}$ de millimètre.	Excès de l'image sur l'image géométrique en secondes d'arc.
1	116,1	12,66
$\frac{1}{4}$	81,0	8,84
$\frac{1}{9}$	41,5	4,52
$\frac{1}{9.5}$	39,2	4,27
$\frac{1}{38}$	— 22,4	— 2,44

Le signe — devant le dernier nombre indique que l'image obtenue est plus petite que l'image géométrique.

2° *Influence de la durée de pose.* — La durée de pose a une influence de même ordre que l'intensité : l'image obtenue croît avec elle. J'ai cité plus haut un exemple de cette influence. Le résultat général est qu'il n'y a pas de proportionnalité entre la durée de pose et l'intensité, les effets de la durée de pose étant beaucoup moins grands que ceux de cette dernière. Un temps de pose 1 avec une intensité 2 produit, par exemple, un effet plus grand qu'un temps de pose 2 avec une intensité 1.

3° *Influence de la sensibilité de la plaque.* — Pour une même durée de pose et une même intensité lumineuse, les phénomènes croissent avec la sensibilité de la plaque, sans qu'il soit cependant possible de donner une loi numérique, la sensibilité n'étant pas

définie rigoureusement. Mes expériences permettent au contraire de déterminer la sensibilité en la mesurant, par exemple, par l'inverse de l'intensité lumineuse qui donnera, avec une durée de pose d'une seconde, une image égale à l'image géométrique.

4° *Influence du diamètre de l'objectif.* — Pour vérifier la loi de l'ouverture de l'objectif, j'ai réduit celui-ci à moitié, mais en quadruplant alors l'intensité de la lumière, de façon que l'éclat de l'image fût constant, la durée de pose étant alors la même dans les deux cas.

Je ne rapporterai, pour ne pas allonger inutilement, que deux expériences :

Excès de l'image obtenue sur l'image géométrique en $\frac{1}{500}$ de millimètre.

Première expérience...	Ouverture 1.....	27,0
	Ouverture $\frac{1}{2}$.....	40,0
Deuxième expérience..	Ouverture 1.....	50,2
	Ouverture $\frac{1}{2}$.....	72,0

L'image augmente donc quand l'ouverture de l'objectif diminue.

5° *Influence de l'exposition antérieure à la lumière.* — J'ai exposé à la lumière diffuse une moitié de chaque plaque, et j'ai fait ensuite sur les deux moitiés une série d'épreuves avec la même durée de pose et la même intensité, de façon que toutes les conditions fussent identiques de part et d'autre, sauf l'exposition antérieure à la lumière. L'expérience a montré constamment que l'image obtenue sur la moitié intacte était plus grande que sur celle qui avait préalablement été impressionnée par la lumière diffuse. Je citerai seulement les nombres suivants :

1° *Plaque daguerrienne iodée et bromée.*

Durée de pose.	Largeur de l'image dans la partie exposée antérieurement à la lumière.	Largeur de l'image dans la partie non exposée.
30 secondes....	514,9	535,6
1 minute.....	537,3	560,4
4 minutes....	563,0	581,5

2° *Plaque sur collodion sec.*

	Durée de pose.	Largeur de l'image dans la partie exposée antérieurement à la lumière.	Largeur de l'image dans la partie non exposée.
Intensité 1	1 minute....	584,5	622,7
	2 minutes...	620,5	641,0
Intensité d'environ $\frac{1}{4}$	1 minute....	516,5	558,0
	2 minutes...	558,5	579,0

III. — *Explication des résultats obtenus.*

La première hypothèse que l'on ait invoquée pour expliquer ces faits était d'admettre un *cheminement* de proche en proche de l'action chimique; mais il est facile de voir que telle ne saurait être la cause de l'agrandissement observé généralement. Tout d'abord, cette hypothèse ne saurait rendre compte de ce fait, qu'avec une faible intensité ou une courte durée de pose on obtient des images plus petites que l'image géométrique. De plus, s'il y avait un cheminement, il devait être plus grand sur une plaque ayant déjà subi l'action de la lumière diffuse que sur une autre non altérée, et nous avons vu que l'expérience donnait un résultat précisément contraire. Enfin, en augmentant la durée de pose, on devrait accroître le cheminement, en lui donnant plus de temps pour se produire : une durée de pose 2 avec une intensité 1 donnerait une image plus grande qu'une durée de pose 1 avec une intensité 2, fait contredit par l'expérience. Il faut donc abandonner cette hypothèse.

La théorie des phénomènes lumineux donne, au contraire, une explication fort simple de tous les phénomènes observés, en admettant seulement, ce qui semble du reste évident, qu'une plaque de sensibilité donnée ne peut être impressionnée, pendant un même temps, que par des lumières possédant une intensité supérieure à une intensité donnée, qui définira justement la sensibilité de la plaque, si l'on peut mesurer en valeur absolue l'intensité limite qui donne une impression pendant l'unité de temps.

L'étude de la diffraction au foyer des lentilles, faite par Schwerd

(*Beugungserscheinungen*), simplifiée et étendue par M. André [*Étude de la diffraction dans les instruments d'optique* (*Annales de l'École Normale supérieure*, 1876, t. V, p. 275)], conduit aux résultats suivants : l'intensité lumineuse n'est pas constante en dedans même de l'image géométrique : elle décroît près des bords, et, au bord même, elle n'est que la moitié de ce qu'elle est au centre. En dehors de l'image géométrique on trouve encore de la lumière dont l'intensité décroît progressivement en tendant vers zéro.

Si l'on considère un objectif parfait, rigoureusement aplanétique, la largeur de cette zone de diffraction varie en raison inverse de l'ouverture de l'objectif.

L'aberration produit des phénomènes analogues qui se superposent aux précédents et augmentent considérablement l'étendue de la zone diffractée, sans cependant changer le sens général du phénomène. Quand on réduit l'objectif, on a toutefois à tenir compte de deux effets inverses : celui de la diffraction qui augmente et celui de l'aberration qui diminue en même temps que décroît l'ouverture de l'objectif.

Ces lois suffisent à expliquer tous les faits observés. Quand on augmente l'intensité de la source, l'intensité croît proportionnellement en chacun des points de la zone diffractée, et la plaque photographique, qui reste sensible pour une intensité absolue déterminée, donne des images de plus en plus grandes. Si, au contraire, l'intensité décroît assez pour que, dans le temps considéré, la plaque ne soit plus sensible à la moitié de l'intensité au centre de la plaque, on aura des images plus petites que l'image géométrique.

Au lieu de faire varier l'intensité, on peut faire intervenir la durée de pose : on aura alors des effets analogues à ceux que donnait la variation de l'intensité, mais moins rapides. En augmentant l'exposition, on rend en effet la plaque sensible à des lumières de plus en plus faibles, mais cette sensibilité tend rapidement vers une certaine limite, car l'expérience semble prouver que toute intensité qui tombe au-dessous d'une certaine valeur, variable avec la sensibilité de la plaque, ne peut plus produire d'impression même pendant un temps infiniment grand.

L'influence de l'ouverture de l'objectif est également mani-

feste : la zone diffractée augmente quand l'ouverture de l'objectif diminue, et exactement en raison inverse de celle-ci. L'expérience a montré cette augmentation, mais un peu moins rapide que ne le veut la théorie ; en effet, en même temps que la diminution de l'ouverture produit une augmentation de la zone diffractée, elle diminue notablement l'effet de l'aberration.

Enfin, quand on soumet à la lumière diffuse la plaque sensible avant d'y imprimer l'image, celle-ci vient se faire sur un champ déjà éclairé, et cet éclairement général masque une partie de l'agrandissement diffractionnel.

En résumé, les faits observés sont en parfait accord avec la théorie. La dimension des images photographiques varie avec toutes les conditions de l'expérience ; mais, pour expliquer ces variations, il suffit d'avoir recours aux théories ordinaires de l'Optique, et non à l'hypothèse d'un cheminement mystérieux des actions chimiques.

Cette variation du diamètre des images est inévitable dans la pratique. Pour la rendre très-faible, il faudra s'assurer que l'objectif employé est aplanétique, c'est-à-dire dépourvu, autant que possible, d'aberrations de sphéricité et de réfrangibilité.

On n'aura plus alors à tenir compte que des variations dues à la diffraction, que l'on atténuera en employant des objectifs de grande ouverture. Nous avons vu, en effet, que l'étendue de la zone diffractée variait en raison inverse du diamètre de l'objectif, supposé aplanétique.

C'est en employant un objectif sans aberration sensible, et de 15 pouces d'ouverture ($0^m,38$), que M. Rutherfurd, par exemple, est parvenu à obtenir ces magnifiques photographies de la Lune que tout le monde connaît.

SÉANCE DU 20 JUILLET 1877.

PRÉSIDENCE DE M. CH. PLOIX.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Ducomet, ingénieur ;

Tuleu, ingénieur; Sire (G.), docteur ès sciences, essayeur de la garantie à Besançon.

M. Marey présente un appareil qu'il nomme *dromographe* ou *odographe* et qui inscrit, sous forme de courbe, la fréquence des mouvements périodiques.

M. Marey montre également un instrument qui est la réalisation définitive du loch à cadran, dont il a déjà présenté le projet à la Société. Cet instrument a été construit par M. V. Tatin.

Sur un nouvel appareil destiné à la mesure de la fréquence des mouvements périodiques; par M. Marey.

L'appareil que je nomme *dromographe* ou *odographe* inscrit, sous forme de courbe, la fréquence des mouvements périodiques.

Il permet de lire à tout instant le nombre absolu des actes accomplis et la fréquence avec laquelle ils se sont succédé, pendant un temps aussi long qu'on jugera nécessaire de suivre le phénomène.

Cet appareil consiste en un cylindre qui tourne d'un mouvement uniforme (1^{mm} à la minute), et d'un style qui peut cheminer parallèlement à la génératrice du cylindre; chacun des mouvements qu'il s'agit de compter le fait avancer d'une petite quantité.

S'il faut cent mouvements pour faire avancer le style de 1^{mm}, on connaîtra à tout instant le nombre de mouvements qui se sont produits, d'après le nombre de millimètres parcourus par le style et comptés sur l'axe des y. D'autre part, puisque le cylindre tourne uniformément, la fréquence plus ou moins grande des mouvements qui se sont produits se traduira par une inclinaison variable de la ligne tracée, et aura pour mesure la tangente de l'angle que cette ligne fait à chaque instant avec l'axe des x.

Cet appareil s'applique à tous les phénomènes périodiques qui se traduisent par des mouvements. Je l'ai employé à contrôler la vitesse de différentes machines, mouvements d'horlogerie, moteurs à gaz ou à eau, etc. Adapté à une voiture, dont il compte les tours

de roue, cet instrument constitue l'*odographe* parfait, exprimant les espaces parcourus en fonction du temps, indiquant les durées de marche et celles d'arrêt.

Dans le cas où les actes dont il s'agit d'inscrire le nombre ont trop peu de force motrice, j'emploie un relai électrique, au moyen duquel j'obtiens le travail nécessaire pour mettre l'appareil en marche; il suffit alors que le mouvement qu'on étudie ait assez de force pour rompre un courant électrique, ce qui est à peu près toujours possible.

SÉANCE DU 2 NOVEMBRE 1877.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 juillet est lu est adopté.

M. Niaudet présente à la Société le téléphone de M. Graham Bell.

Des téléphones; par M. A. Niaudet.

On a cherché à réaliser, au moyen de l'électricité, des appareils qui transmettent la parole à une distance telle que leur portée s'étende à plusieurs kilomètres. D'abord on n'est parvenu à réaliser qu'une partie du problème : les sons ont été transmis, mais l'articulation ne pouvait être distinguée. On entendait un chant, mais on ne reconnaissait pas les paroles. M. Reis, de Friedrichsdorf (près de Hombourg) a le premier réalisé, en 1863, ce genre de téléphone. M. Graham Bell, dans ces dernières années, a résolu le problème dans toute son étendue : son appareil transmet le son

---

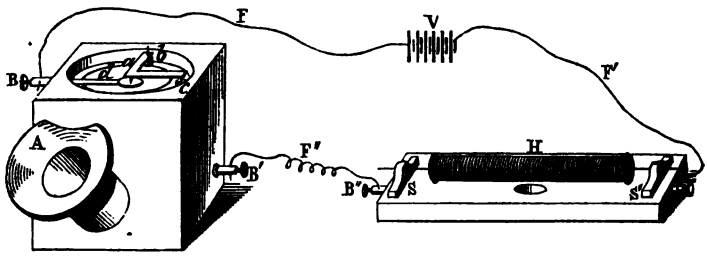
(1) Voir *Journal de Physique*, t. VI, p. 192.

de la voix avec toutes ses qualités ; c'est un porte-voix qui transmet la parole non pas à quelques mètres, mais à des distances de plusieurs kilomètres.

Le téléphone de Reis se compose, comme tout appareil télégraphique, de deux parties : le *transmetteur* et le *récepteur*, et entre eux naturellement la ligne, deux fils ou un fil et la terre.

Le *transmetteur* est formé par une boîte sonore à deux ouvertures : l'une latérale A, pourvue d'une embouchure dans laquelle

Fig. 1.



on parle, ou que l'on présente à un instrument de musique ; l'autre supérieure B, fermée par une membrane comme la peau d'un tambour. La membrane porte à son centre un petit disque de platine, relié par une bande métallique radiale *d* à l'un des fils F de transmission relié au pôle positif de la pile V ; un trépied métallique *abc*, très-délicatement construit, très-mobile, appuie par un de ses pieds *a*, terminé en une pointe de platine, sur le disque central, et un autre pied *b* repose dans un godet de métal qui établit la communication avec un second fil F″, qui est uni par l'intermédiaire du récepteur H au pôle négatif d'une pile voltaïque V. Quand la membrane vibre sous l'influence des sons qu'on lui fait entendre, le disque central se dérobe sous la pointe de platine qui fermait le circuit, puis se relève et recommence par une série d'alternatives qui produisent autant de fermetures et d'interruptions du courant.

Ainsi donc cet appareil transmet sur la ligne télégraphique une série de courants discontinus.

Le *récepteur* se compose d'une bobine ordinaire H au milieu de laquelle est placée une tige d'acier, semblable à une aiguille à tricoter, qui, placée horizontalement, repose par une de ses extrémités sur deux petits supports de bois S, S′, montés eux-mêmes

sur une caisse sonore. Les bouts du fil de la bobine sont en relation, l'un avec le fil F″, l'autre avec le fil F′ qui aboutit au pôle négatif de la pile. Dans la bobine circulent donc des courants dont la discontinuité est due aux vibrations de la membrane. Or c'est un fait connu depuis longtemps qu'une tige d'acier placée dans ces conditions s'allonge légèrement quand la bobine est parcourue par un courant, et qu'elle se raccourcit à peu près autant quand le courant est rompu. Il résulte de là que cette tige rendra un son quand le courant sera très-rapidement et périodiquement établi et rompu. Le son produit sera plus bas ou plus aigu, suivant que les courants ainsi envoyés seront plus ou moins fréquents.

On comprend dès à présent comment le son rendu par la tige d'acier du récepteur est à l'unisson de son produit par la membrane du transmetteur et comment une série de sons rendus par l'une est aussi rendue par l'autre.

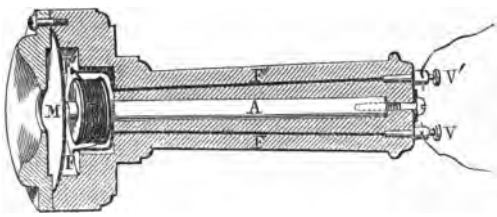
Il importe de remarquer que, si la hauteur du son est ainsi fidèlement transmise et reproduite, l'intensité du son ne le sera pas. En effet, la différence entre un son fort et un son faible au point de départ, c'est-à-dire à la membrane, est dans l'amplitude plus ou moins grande des vibrations de cette membrane ; mais ces vibrations sont très-sensiblement isochrones tant que le son ne change que d'intensité, par suite la durée des envois de courant ne change pas avec la force du son. A plus forte raison, cet appareil ne peut-il rendre le timbre des sons et, en résumé, des trois qualités du son : hauteur, intensité, timbre ; une seule est respectée par l'instrument imaginé par M. Reis.

Pour traiter complétement la question des téléphones, il faudrait décrire les appareils téléphoniques de M. Elisha Gray, de Chicago, qui sont des appareils fort compliqués, dérivés du système de M. Reis. En réalité, plusieurs téléphones Reis perfectionnés, réunis ensemble, constituent le téléphone de Gray. On trouve la description de cet appareil dans l'ouvrage de M. Prescott et dans divers journaux. On rapporte qu'il a été possible de faire entendre dans une ville un concert qui était exécuté dans une autre ville. Il en est de même du système de M. Paul Lacour, de Copenhague, qui paraît avoir rendu des sons plus beaux que ceux produits par l'appareil de Gray.

Passons à la description du téléphone de M. Graham Bell. L'ap-

pareil qui fonctionne actuellement est composé de deux parties, le transmetteur et le récepteur, qui sont absolument identiques. Décrivons le transmetteur : il se compose d'une membrane de fer M, c'est-à-dire d'une plaque circulaire de fer, qui vibre à l'unisson

Fig. 2.



de la voix. Cette membrane est placée devant l'embouchure E de l'instrument et, par conséquent, dans les meilleures conditions pour recevoir les sons et les reproduire. Derrière la membrane de fer et perpendiculairement à son plan, est une tige d'acier aimantée A, qui n'arrive pas à toucher la membrane, mais qui en est très-près. Sur cette tige d'acier est emmanchée une petite bobine B fort courte, sur laquelle est enroulé du fil assez fin. Le récepteur, qui est identique, et formé de pièces M′, A′, B′, est réuni au transmetteur par deux fils métalliques F et F′, qui font un circuit continu avec les fils des deux bobines.

Ces divers organes, soit du transmetteur, soit du récepteur, sont contenus dans une boîte d'acajou dont la forme extérieure accuse la forme des pièces intérieures. Quand l'appareil joue le rôle de transmetteur, on le présente devant sa bouche, à une petite distance ; la membrane vibre à l'unisson des sons multiples, simultanés et successifs, qui composent un mot et une phrase. Il convient de parler très-distinctement. Quand l'appareil est récepteur, on applique l'embouchure contre le pavillon de l'oreille, ce qui a le double avantage de l'amener au plus près du tympan et de créer une sorte d'écran contre les bruits extérieurs.

Considérons l'ensemble des deux appareils et examinons ce qui se passe, pour avoir l'explication de leur fonctionnement. La voix fait vibrer la membrane du transmetteur. Ces mouvements vibratoires sont plus étendus si le son *moteur* est plus fort, moins étendus si l'on parle bas. Ils sont plus rapides si c'est une note aiguë,

plus lents si c'est une note grave : voilà pour l'intensité et la hauteur du son. Venons maintenant au timbre. Les sons émis par la voix humaine, même les plus simples, *a*, *i*, sont composés de plusieurs sons coexistants; la membrane de fer vibre à la fois à l'unisson de ces divers sons simultanés, et reproduit chacun d'eux avec l'intensité qu'il a dans le son ordinaire. Toutes ces vibrations, avec leurs particularités compliquées, sont des approchements et éloignements successifs par rapport au barreau aimanté. Ces changements de distance produisent des changements dans la grandeur et la distribution de l'aimantation du barreau. Les approchements augmentent l'aimantation, les éloignements la diminuent. Mais ces changements d'aimantation font naître, dans le fil qui compose la bobine, des courants d'induction. La membrane s'approche de l'aimant, un courant d'induction de sens direct se produit. La membrane s'éloigne, le pôle s'éloigne de son côté : un courant d'induction de sens inverse se produit à son tour. Si les mouvements d'approchement et d'éloignement sont étendus, les deux courants d'induction dont je viens de parler ont une intensité relativement considérable; si les mouvements sont moins étendus, les courants sont moins intenses. Toutes les circonstances de l'approchement et de l'éloignement sont, par conséquent, des variations correspondantes du phénomène électrique.

Voilà pour le transmetteur; examinons maintenant le récepteur : des courants lui sont envoyés; ces courants circulent dans la bobine B′, exaltent l'aimantation du barreau A′ autour duquel ils passent, ou le diminuent, suivant leur sens; à chaque augmentation du magnétisme, la membrane réceptrice M′ est attirée avec une énergie nouvelle par le pôle de l'aimant et s'en approche; à chaque diminution du magnétisme, la membrane, toujours tendue par l'action permanente de l'aimant, se distend légèrement. Ainsi les mouvements vibratoires de la membrane M′ résultent des alternatives des courants d'induction. En un mot, tout ce qui était cause dans le transmetteur devient effet dans le récepteur, et les effets deviennent cause. Tout recommence ici dans un ordre inverse, et la seconde membrane M′ rend finalement tous les sons déjà rendus par la première M; si donc on approche son oreille de la seconde, on entend toutes les modulations des sons qui ont mis la première en branle.

On trouve dans cet appareil tout ce qui se trouve dans le porte-voix ordinaire : similitude des appareils aux deux extrémités, qui sont indifféremment récepteurs ou transmetteurs. La hauteur des sons, leur intensité, leur timbre, sont reproduits à distance ; la voix d'un ami se reconnaît de suite ; la voix d'une femme se distingue de celle d'un homme ; sans doute la voix n'arrive pas à l'oreille avec un caractère musical sans aucune variation. Vous entendez non pas la voix, mais l'image de la voix ; de même que vous reconnaissez une personne en voyant son image dans un miroir ; et que vous sentez bien que c'est son image que vous voyez et non pas elle. Dans une image, si parfaite qu'elle soit rendue par un miroir, ce miroir donne un caractère spécial, qui est différent pour un miroir étamé ordinaire, pour un miroir d'argent, pour un miroir de cuivre. Dans le téléphone la voix parvient à l'auditeur légèrement touchée par la nature de la membrane ou des membranes de fer qui lui ont servi de véhicule. Elle l'est d'ailleurs aussi dans le porte-voix.

Une chose digne de remarque dans cet appareil, c'est la faiblesse des forces mécaniques mises en jeu. Dans la télégraphie ordinaire on met généralement en action une pile qui dépense et fournit du travail ; de plus, la main fait un mouvement plus ou moins grand, et si l'on emploie un transmetteur automatique, un ressort, armé au préalable, se détend et fait courir un rouage. Ici le travail moteur est celui de la voix ; sans doute ce n'est pas un travail nul, et la fatigue qu'on éprouve quand on a parlé ou chanté longtemps est une preuve qu'on fait un travail sensible. Il n'y a que des personnes remarquablement constituées qui puissent emplir une salle de spectacle du son de leur voix, c'est-à-dire faire vibrer tout l'air qu'elle renferme, et, au delà des cloisons, faire encore vibrer l'air dans les couloirs ; ces personnes font un travail mécanique évident et qui se produit par des contorsions du corps chez les chanteurs qui sentent qu'ils manquent de voix.

Avant de terminer, nous allons faire connaître rapidement les épreuves qui ont été faites avec le téléphone de Bell.

Si l'on est dans une chambre absolument silencieuse, on entend des phrases prononcées à voix très-basse, on entend le bruit de la respiration, on entend tousser, on entend siffler, etc. L'appareil peut être entendu au travers d'un fil télégraphique même fort long :

rien ne serait plus facile que de parler de Paris à Versailles. M. Preece, électricien du Gouvernement anglais, qui a montré le téléphone à l'Association britannique, à Plymouth, dit avoir conversé plusieurs fois à 32 milles de distance, et nous espérons que les expériences anglaises seront reproduites sur les lignes françaises.

L'appareil admirable de M. Bell a cependant un défaut qui résulte de sa perfection même, perfection qui consiste à mettre en œuvre des moyens si réduits. Quand le fil de correspondance est placé dans le voisinage d'autres fils conducteurs parcourus par des courants télégraphiques, ces courants produisent des effets d'induction qui troublent la communication par le téléphone, et qui lui font rendre des sons discordants, que M. Preece compare au bruit de la grêle frappant des carreaux de vitre. Cet inconvénient ne doit pas être exagéré, car il y a bon nombre de lignes sur lesquelles il n'y a qu'un seul fil et sur lesquelles, par conséquent, il ne peut y avoir d'induction à redouter; et là où il n'y a que deux fils peu occupés, l'un des deux pourrait presque toujours servir à la communication téléphonique.

Resterait l'action des courants telluriques, c'est-à-dire des courants produits par des actions naturelles, qu'on rattache au phénomène des aurores boréales, et qui parcourent les lignes télégraphiques. Ils troubleront le téléphone, mais ils troublent aussi le télégraphe, quoique à un moindre degré.

Les téléphones, même perfectionnés, sont-ils destinés à remplacer tous les télégraphes? Certainement non. D'abord il est clair qu'ils ne remplaceront pas l'appareil qui envoie le portrait d'un malfaiteur; d'autre part il y a souvent une grande importance à ce que la trace d'une dépêche soit gardée. Enfin il y a des systèmes télégraphiques d'une rapidité telle que la transmission par un seul fil est plus rapide que la parole; et cependant trace est laissée des dépêches. Ces systèmes rapides s'imposent absolument pour les longues lignes très-chargées, parce qu'ils permettent de faire un service considérable avec un nombre de fils relativement petit, et par suite avec une mise de fonds limitée.

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Bordet, ancien élève de l'École Polytechnique à Paris ; Lutz, constructeur d'instruments d'optique à Paris ; Pucheu, professeur de Chimie au Collége de Béziers ; Varache, professeur de Physique au Collége de Béziers.

M. Gernez communique à la Société le résultat de ses expériences sur l'influence qu'exerce une action mécanique sur la production de divers hydrates dans les solutions aqueuses sursaturées.

M. Rosenstiehl expose les résultats qu'il a obtenus en employant les disques rotatifs à l'étude des phénomènes des perceptions lumineuses.

Production de divers hydrates dans les solutions sursaturées concentrées sous l'influence d'une action métallique;
par M. D. Gernez.

Les solutions aqueuses sursaturées d'un grand nombre de sels laissent déposer spontanément, lorsque la concentration atteint une certaine limite, des cristaux d'un sel moins hydraté que le sel ordinaire.

Si l'on ne pousse pas la concentration tout à fait assez loin pour observer ce dépôt spontané, on obtient le plus souvent des solutions encore assez riches pour être sursaturées, même par rapport à ce sel moins hydraté, et l'on s'en assure en y introduisant une parcelle cristalline du sel qui se développe aussitôt seul et en quantité d'autant plus abondante que la concentration a été poussée plus loin.

Supposons que dans une solution de ce genre on introduise une

tige rigide et qu'on s'en serve pour exercer un frottement un peu vif contre les parois du vase baignées par le liquide, il pourra se faire qu'on détermine la production de cristaux. Cette action mécanique ne fait pas naître ces cristaux dès qu'ils sont possibles : j'ai reconnu, en effet, que des solutions assez concentrées pour abandonner le sel moins hydraté au contact d'un germe cristallin de même forme résistent aux frottements les plus énergiques, lorsque la sursaturation n'est pas très-avancée, tandis qu'un frottement relativement modéré détermine d'autant plus facilement la cristallisation que la concentration du liquide est plus voisine du maximum.

En étudiant la manière dont se comportent les diverses solutions concentrées susceptibles de déposer des hydrates différents au contact de germes cristallins et qui donnent des cristaux sous l'influence d'une action mécanique, j'ai reconnu que les phénomènes peuvent se rattacher aux trois cas que je vais indiquer en signalant quelques expériences de cours qui les mettent en évidence.

1° Il se produit des cristaux du sel le moins hydraté : c'est le cas bien connu présenté par le sulfate de soude. Les solutions de cette substance contenant au moins deux parties de sel ordinaire pour une partie d'eau, privées de sel anhydre en suspension et refroidies au-dessous de + 8°, abandonnent par frottement une abondante cristallisation de l'hydrate à 7HO. Le chromate de soude se comporte de la même manière, et ses solutions très-concentrées, refroidies à une température voisine de zéro, donnent par frottement des cristaux de l'hydrate à 4HO.

2° Le deuxième cas est celui où il se produit des cristaux du sel le plus hydraté, bien que l'on puisse par le contact d'un cristal faire naître dans la même solution le sel le moins hydraté.

Ce cas se présente, par exemple, avec l'acétate de soude. Pour l'observer, on introduit dans un tube fermé à un bout des cristaux d'acétate de soude ordinaire à 6HO ; on chauffe jusqu'à l'ébullition de manière à éliminer une petite quantité d'eau, puis on refroidit le tube après l'avoir bouché et on l'agite de temps en temps pour empêcher la formation, par refroidissement superficiel, des cristaux de l'hydrate à 3HO. On obtient ainsi un liquide qui peut être facilement amené à la température de fusion de la glace sans cristalliser.

Dans ces conditions, il peut donner, sous l'influence d'un germe cristallin, l'un ou l'autre des deux hydrates, et, par un refroidissement rapide, il produirait spontanément l'hydrate à 3HO; mais, vient-on à y introduire une tige rigide, puis à exercer un léger frottement contre les parois, on détermine immédiatement la solidification sur la ligne des points frottés avec d'autant plus de facilité que la concentration du liquide est plus grande. Les cristaux ainsi formés sont ceux de l'acétate de soude ordinaire à 6HO et l'on voit que ce liquide se comporte comme si les cristaux d'acétate de soude ordinaire étaient à l'état de surfusion.

3° Le troisième cas est celui que j'ai observé dans les solutions concentrées de chlorure de calcium, qui peuvent donner par frottement d'abord le sel le moins hydraté, puis le sel le plus hydraté. Voici comment on peut obtenir ce résultat : on fond dans un tube fermé à une extrémité des cristaux de chlorure de calcium à 6HO, et l'on amène le liquide à l'ébullition pour chasser une petite quantité d'eau. On bouche l'orifice du tube et on laisse refroidir lentement le liquide, en l'agitant de temps en temps, pour éviter la production spontanée de cristaux à 4HO qui se formeraient par évaporation à la surface et s'étendraient ensuite dans toute la masse liquide. On amène ainsi la solution à 15° et, après avoir constaté qu'elle est bien limpide, on y introduit une tige rigide, une longue aiguille d'acier par exemple ; on en frotte *très-légèrement* la pointe contre la paroi du tube baignée par le liquide, et l'on voit naître aussitôt des cristaux de chlorure de calcium à 4HO, qui se développent peu à peu avec dégagement de chaleur et envahissent tout le liquide sous forme de longues aiguilles feutrées. On attend que la masse ait repris la température ambiante de 15°, et l'on obtient rapidement ce résultat en laissant séjourner le tube dans un bain d'eau à cette température. On frotte alors de nouveau un peu vivement le fond du tube en déplaçant l'aiguille, et il se produit immédiatement, le long des points frottés, des cristaux qui grandissent plus vite que les précédents, en dégageant une nouvelle quantité de chaleur, et solidifient bientôt la presque totalité du liquide. C'est le chlorure de calcium à 6HO qui se forme ainsi après l'autre hydrate, si la première action mécanique a été très-faible; mais, dans le cas où l'on exerce dès le début une friction énergique, on n'observe que le second phénomène, car les cristaux à 6HO,

se développant beaucoup plus rapidement et en plus grande abondance que les autres, masqueraient évidemment leur formation dans le cas où ils auraient commencé à se produire.

De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations lumineuses colorées; par M. Rosenstiehl.

Newton s'est servi des disques rotatifs pour faire la synthèse de la lumière blanche, à l'aide de secteurs colorés par des matières colorantes. MM. Plateau, Helmholtz et Dove les ont employés pour démontrer la différence qu'il y a entre le mélange des matières colorantes et celui des sensations lumineuses qu'elles provoquent. M. Maxwell en a tiré parti pour étudier les propriétés physiologiques de l'œil et pour classer les matières colorantes d'après des types choisis arbitrairement. Le présent travail touche à toutes ces différentes questions. J'avais à ma disposition les ressources d'une grande fabrique d'impressions. Les manipulations ont été faites par un employé spécial; les jugements de l'œil, que j'aurai à consigner ici, ne sont pas l'expression d'un sentiment personnel, ils sont celui d'hommes dont l'œil a reçu une éducation exceptionnelle par les soins journaliers qu'exige la fabrication des toiles peintes.

Pour simplifier l'exposé de mes expériences, je suppose connus les travaux de M. Chevreul sur le contraste simultané des couleurs, et je me servirai du langage qu'il a adopté quand il a créé le cercle chromatique qui porte son nom. Toutes les couleurs dont il sera question ici sont rapportées à ce cercle, avec lequel M. Chevreul a bien voulu me permettre de les comparer.

L'ordre que je suivrai dans cet exposé est à peu près celui dans lequel les questions se sont présentées pendant le cours du travail. J'étudierai, à l'aide des disques rotatifs : 1° comment se modifie l'aspect d'une matière colorante quand on la mélange à du noir pour la rabattre, ou à du blanc pour l'éclaircir ; 2° je comparerai les couleurs ainsi obtenues à celles que l'on obtient avec la même matière colorante, quand, au lieu de la mélanger avec des matières

incolores, on mélange l'impression qu'elle produit sur l'œil avec l'impression de la lumière blanche et du noir absolu; 3° j'examinerai ensuite quelle est la condition que doivent remplir une série de couleurs, pour qu'elles paraissent équidistantes à l'œil, en prenant pour point de départ le cercle chromatique de M. Chevreul.

I. — Emploi du disque rotatif.

Je me suis servi du disque rotatif de trois manières différentes.

Première manière : *Détermination des couleurs complémentaires par rapport à la lumière blanche.* — Les couleurs sont fixées sur de petits disques de papier fort, découpés à l'aide d'un emporte-pièce spécial; ces petits disques sont fendus en partie selon un rayon, en partie selon une circonférence, ce qui permet d'en engager deux l'un dans l'autre et de faire varier rapidement l'angle relatif des secteurs, jusqu'au moment où, par la rotation rapide du petit disque autour de son centre, la surface paraisse d'un gris uniforme, parfaitement incolore.

On n'arriverait à aucun résultat exact si l'on n'avait sous les yeux un type; celui-ci doit être non-seulement parfaitement incolore, mais aussi de même *hauteur de ton* que le gris produit par les deux complémentaires. Cette condition est réalisée par la disposition suivante. Dans une caisse en bois, fermée de tous côtés, tapissée intérieurement de velours noir, est percé un trou; devant cet orifice circulaire, qui est d'un noir aussi parfait qu'il est possible de le réaliser, je place un secteur blanc (papier peint avec du sulfate de baryte pur) à angle variable. Celui-ci peut être mis en rotation rapide à l'aide d'un axe qui traverse la caisse et aboutit normalement au centre du trou. Il se produit ainsi un gris dont je fais varier à volonté le ton en modifiant l'angle du secteur blanc. Au centre du cercle, je dispose sur le même axe les petits disques fendus dont il a été question plus haut, colorés par les couleurs complémentaires. Par tâtonnement, on arrive rapidement à obtenir deux gris qui, à la vue, paraissent identiques, quoique obtenus de deux manières si différentes. En mesurant l'angle des secteurs, on connaît : 1° la proportion des deux couleurs qui reproduisent la

lumière blanche ; 2° la quantité de lumière blanche reproduite. Le principal intérêt de ces chiffres est de permettre de comparer entre elles toutes les couleurs qui ont même couleur complémentaire, c'est-à-dire celles qui résultent de la modification par la lumière blanche, ou par le noir, d'une seule et même couleur spectrale. La suite fera ressortir l'utilité de cette comparaison.

Deuxième manière : *Détermination des couleurs qui sont complémentaires par rapport à une lumière colorée donnée.* — Quand on met en rotation rapide un disque couvert de secteurs de couleurs non complémentaires, il en résulte une troisième couleur, plus ou moins éclaircie par du blanc et rabattue par du noir ; cette même couleur peut être reproduite directement par un seul secteur coloré servant de type, auquel on adjoint des secteurs blancs et noirs. C'est ainsi que le violet et l'orangé produisent le rouge ; l'orangé et le vert produisent du jaune ; le vert et le violet produisent du bleu.

J'ai utilisé ce procédé pour étudier la répartition des couleurs primaires des artistes : le rouge, le jaune et le bleu, dans le premier cercle chromatique de M. Chevreul.

Troisième manière : *Modification d'une couleur donnée par la lumière blanche, le noir absolu, ou par les deux à la fois.* — Un secteur coloré par l'une des couleurs franches du premier cercle chromatique de M. Chevreul est placé sur un disque qui est soit blanc, soit noir, soit les deux à la fois. En le mettant en rotation rapide, sa surface prend une teinte uniforme, que j'ai fait copier par un peintre, pour la conserver. En variant l'angle des secteurs colorés, blancs ou noirs, on obtient une infinité d'aspects, qui constituent autant de couleurs que j'appelle *dérivées* de la couleur primitive. *Ces dérivées sont définies par les angles des secteurs qui les composent.*

Dans cette mesure, il y a trois données, dont deux sont nettement définies : ce sont le blanc et le noir ; la troisième, la couleur franche, ne peut être définie que par rapport à un type arbitraire. J'ai choisi les couleurs franches du cercle chromatique de M. Chevreul, tel qu'il a été reproduit par la chromolithographie.

Pour que ce procédé fût universellement applicable, il suffirait

que des tissus teints selon les couleurs types des Gobelins fussent mis dans le commerce. Le langage des ouvrages spéciaux gagnerait par là en précision.

II. — Manière dont se modifie l'aspect d'une matière colorante, quand on la rabat par du noir ou qu'on l'éclaircit par du blanc matériel.

J'ai imprimé au rouleau, sur de l'étoffe blanche, un jaune orangé; la couleur qui a servi à le produire a ensuite été étendue de son volume d'un épaississant incolore, et le nouveau mélange imprimé à son tour; en continuant à affaiblir la couleur par l'addition de matières incolores, en suivant une progression géométrique, et en imprimant sur étoffe, j'ai obtenu une succession de *tons* de la même couleur, ce que M. Chevreul appelle une *gamme*. Ce procédé est celui que l'on emploie en impression quand on veut *éclaircir* une couleur. C'est aussi celui que l'on emploie en peinture à l'aquarelle. C'est le blanc de l'étoffe ou du papier qui, apparaissant à travers la matière colorante translucide, en affaiblit la couleur.

J'ai déterminé ensuite la complémentaire de chacun de ces tons; j'avais pensé que la complémentaire du ton le plus foncé serait aussi celle des autres tons, et qu'il n'y aurait rien de changé que le rapport des surfaces; mais il n'en a rien été. Voici la complémentaire de chaque ton :

Couleur la plus foncée.....	Premier vert bleu.
Intensité $\frac{1}{2}$.....	Deuxième »
» $\frac{1}{4}$.....	Quatrième »
» $\frac{1}{8}$.....	Bleu.

L'écart est considérable, et l'altération s'est faite de manière que les tons clairs se comportent comme s'ils étaient plus verdâtres, comme si la couleur primitive avait *perdu du rouge*.

Ce phénomène est constant : je l'ai constaté pour le bleu, pour le violet, le violet rouge, l'orangé et le jaune. Il est maximum pour le jaune et le bleu; il est nul pour le rouge et le vert, intermédiaire pour les autres couleurs. Il est indépendant de la com-

position chimique de la matière colorante ou de l'épaississant incolore employé; qu'une couleur soit obtenue par des matières pulvérulentes, comme l'outremer; produite sur un point par vaporisage, comme les bleus aux cyanures de fer; ou par teinture, comme l'indigo et les bleus d'aniline; toujours on constatera cette perte de rouge, qui sera d'autant plus grande que la couleur aura été plus affaiblie. Le phénomène est encore bien plus marqué si l'on emploie des matières blanches ou des matières noires, comme le noir de fumée. Ce dernier cas est bien connu, et M. Chevreul, qui le cite, l'énonce en disant que le noir matériel agit souvent comme du bleu. Je pense que l'effet du noir est un cas particulier du phénomène général que je viens de décrire, et qu'on peut énoncer ainsi :

Quand on affaiblit les couleurs d'une matière colorante par des matières incolores (blanches, grises ou noires), le mélange est notablement plus vert que la matière colorante qui lui donne sa couleur.

III. — Manière dont la couleur se modifie quand on mêle la lumière colorée qu'elle émet avec la lumière blanche, ou avec le noir absolu (*Mélange des sensations*).

J'ai construit la gamme du même jaune orangé, en m'imposant cette condition que chaque *ton* eût même complémentaire que la couleur la plus foncée. L'aspect d'une pareille gamme, que j'appellerai *vraie* ou *physiologique,* est complétement inaccoutumé. Les tons clairs paraissent notablement plus rougeâtres que le ton le plus foncé. Voici la place occupée dans le cercle chromatique de M. Chevreul par les tons de la gamme vraie du cinquième orangé :

Premier orangé rouge.....	1er ton.
Troisième »	2e »
Quatrième orangé rouge.....	3e ton.
Cinquième »	4e »
Deuxième orangé.....	5 ½ »
Quatrième orangé.....	8e »

On peut voir, d'après cela, combien la lumière blanche paraît rougir une couleur en s'y mêlant. Brücke a déjà observé l'apparence

rougeâtre des tons clairs du bleu et du jaune, si on les mêle avec de la lumière blanche par le procédé Lambert. Le bleu lui a paru lilas, le jaune d'un orangé pâle. Il conclut de ces faits que la lumière blanche se comporte comme si elle contenait un *excès de rouge.* « En appelant *surfaces blanches* celles qui réfléchissent la lumière du jour sans changements chromatiques, nous devons admettre que *la lumière diffuse du jour est rougeâtre*» (Brucke, *Physiologie den Farben,* p. 46; Leipzig, 1876).

Je fais observer que les tons clairs d'une couleur, qui résultent de son mélange avec la lumière blanche, qu'ils aient été obtenus par le procédé Lambert, par le prisme biréfringent ou par le disque rotatif, ont *tous même complementaire.*

La composition physique de la lumière colorée est donc la même. Les tons clairs ne *sont* donc pas plus rougeâtres, ils le *paraissent.* Nous sommes ici en présence d'un jugement de l'œil, qui n'est établi que par comparaison inconsciente avec les tons clairs obtenus par le mélange de matières colorantes et de matières incolores. Ces derniers sont les seuls que l'on ait connus jusqu'à présent; mais j'ai démontré que ces tons clairs ont *perdu* du rouge, ils ne sont plus les vrais dérivés de la couleur qui a servi de point de départ.

On sait que, quand l'œil se fixe pendant quelques instants sur un objet coloré bien éclairé, et qu'il s'en détache brusquement pour se reposer sur une surface incolore, il en voit l'image colorée en une couleur fort différente de celle de l'objet. On a appelé cette couleur *complémentaire physiologique,* pour la distinguer de la complémentaire que fournissent les instruments d'optique fondés sur la polarisation rotatoire, et que l'on appelle *complémentaire physique.* Des auteurs affirment que ces deux complémentaires sont différentes, que les premières paraissent constamment plus rouges que les secondes. Je n'ai pas tardé à reconnaître que c'est une erreur.

Que l'on fixe, par exemple, le bleu (4e vert bleu, 10e ton) complémentaire du 5e orangé, l'œil verra, après s'être détaché, une couleur *chair* qu'il trouve assez bien représentée par le 1er orangé rouge, 1er ton. Se fiant à son jugement, on dira : Le 4e bleu vert, 10e ton, a pour complémentaire physique le 5e orangé, 8e ton, et pour complémentaire physiologique le 1er orangé rouge, 1er ton ;

donc les deux complémentaires ne sont pas identiques entre elles. Mais j'ai fait voir que le 1er orangé rouge, 1er ton, fait partie de la gamme vraie du 5e orangé; le jugement de l'œil est influencé par une comparaison inconsciente, qu'il établit entre la couleur qu'il voit et celle qui résulterait du mélange des matières colorantes et des matières incolores. Il compare entre elles une couleur foncée et une autre qui est éclaircie par de la lumière blanche. On le voit, il n'y a lieu de faire aucune différence entre les deux espèces de complémentaires; il n'existe que la complémentaire physique, à laquelle il faut ajouter les nombreux dérivés, que l'on obtient en y mêlant des quantités variables de lumière blanche.

La lumière blanche, en se mêlant à la lumière colorée, paraît donc la rougir considérablement. Mais ne n'est pas là la seule modification qu'elle fait éprouver à l'aspect de la couleur : il s'en produit encore une autre qui n'est pas moins intéressante, et qui ne manque pas de frapper quand on la voit pour la première fois. Un exemple la fera comprendre.

Je couvre la surface d'un disque avec un secteur blanc et un secteur coloré en bleu par de l'outremer. En mettant en rotation rapide, la couleur résultante sera un lilas passablement gris. Pour copier cette couleur, je suis obligé d'employer non-seulement de l'outremer et du blanc (sulfate de baryte), mais encore du carmin de cochenille, pour compenser la *perte* de rouge; ce mélange étant encore trop vif, il faut y ajouter du noir pour le rabattre. L'effet de la lumière blanche est donc de *ternir la couleur de la matière colorante.*

Les diverses matières colorantes dont la couleur est considérée comme franche ne subissent pas ce rabat de la même manière. Les tons clairs de l'outremer bleu et du carmin de cochenille paraissent bien plus ternir que ceux du jaune et de l'orange de chrome. L'explication de ce fait remarquable se trouvera très-naturellement dans ce qui va suivre. Ce qu'il faut retenir pour le moment, c'est que la lumière émise par une matière blanche, mêlant son impression à celle de la matière colorante, la ternit toujours, quoique, par le *mélange des mêmes matières, il soit possible d'obtenir des couleurs très-vives.*

Le *noir absolu,* au contraire, exerce une action toute différente :

devant l'orifice circulaire, qui ne renvoie à l'œil aucune lumière, je place un secteur coloré en une couleur franche, et je mets en rotation rapide, de manière à mélanger dans l'œil les sensations de la couleur et du noir absolu. Tout le disque présentera un aspect uni, d'une couleur tellement foncée, et en même temps si vive, qu'il m'a été impossible, dans la plupart des cas, de la reproduire avec des matières colorantes. Il n'y a que le velours teint qui se rapproche quelque peu de cette vivacité jointe à tant d'intensité, et qui permette de se faire une idée de ces phénomènes. Ces expériences sont certainement au nombre des plus belles que l'on puisse faire avec les disques rotatifs. Elles démontrent cette proposition, qu'il eût été impossible d'établir *a priori : Le noir absolu ne ternit pas la couleur, il la fonce en lui laissant sa vivacité,* tandis que la lumière blanche la ternit, ainsi qu'on l'a vu plus haut. J'avoue qu'avant d'avoir vu ces expériences je croyais le contraire.

Si l'on met sur le disque rotatif à la fois des secteurs blancs et des secteurs colorés, en même temps qu'on laisse des secteurs noirs (qui dans ces expériences sont toujours représentés par l'orifice noir), on peut obtenir de la même couleur une infinité de dérivées, selon que l'on fait varier les angles des mêmes secteurs. Parmi toutes les combinaisons possibles que j'ai réalisées, je ne veux en considérer ici qu'une seule, celle où l'angle du *secteur coloré reste constant,* et où l'on ne fait pas varier les angles des secteurs blancs et noirs. On obtient de cette manière des couleurs qui ont toutes un caractère commun : elles émettent la même quantité de lumière colorée par unité de surface ; mais leur aspect est fort différent. *Celles où le noir domine paraissent bien plus colorées que celles où la lumière blanche est en majorité. Ces dernières paraissent littéralement grises par rapport aux premières.* On retrouve donc ici, sous une autre forme, les propositions énoncées plus haut : 1° Le noir *seul* ne ternit pas une couleur franche, il lui conserve sa vivacité en la fonçant. 2° La lumière blanche ternit la couleur d'une matière colorante en l'éclaircissant.

Cependant la quantité de lumière colorée est la même dans ces dérivés, ainsi qu'on le constate par la mesure directe, en déterminant l'angle du secteur de leur complémentaire commune qui re-

produit avec elle le gris normal. Cet angle est pour toutes exactement le même. D'où vient alors cette différence d'aspect? Pourquoi les dérivés contenant le plus de noir paraissent-ils moins ternis que les dérivés contenant le plus de blanc, quand les uns et les autres émettent la même quantité de lumière colorée? L'explication est toute naturelle.

Il s'agit ici d'un mélange de sensations et non d'un mélange de matières. Une lumière colorée, quelque vive qu'elle soit, n'est qu'une fraction de la lumière blanche incidente. Celle-ci agit donc plus vivement sur l'œil et affaiblit par là l'impression de la lumière colorée. Tandis que le noir, qui est l'absence de toute lumière, laissera briller la lumière colorée, quelque petite qu'en soit la quantité, dans tout son éclat, sans rien y ajouter qui puisse nuire à son impression sur l'œil.

En réfléchissant à l'ensemble de ces phénomènes, on arrive à comprendre qu'une matière colorante puisse paraître douée d'une couleur très-franche, quoiqu'elle contienne en réalité beaucoup de noir absolu, c'est-à-dire qu'elle absorbe en réalité une partie notable de la lumière blanche incidente. Cette absorption ne devient visible que si l'on mêle à la lumière colorée de la lumière blanche; c'est ce qui explique pourquoi les tons clairs que l'on obtient à l'aide du disque rotatif sont plus gris que la couleur qui a servi de point de départ.

Mais ce dérivé n'est pas plus rabattu que la couleur qui lui a donné naissance; par l'effet de la rotation du disque il n'a pas disparu de lumière colorée, ainsi que le constate la lumière directe. Si, néanmoins, il nous paraît en être ainsi, c'est à la suite d'une comparaison inconsciente que nous établissons, avec la couleur que l'on obtiendrait en mêlant la matière colorante avec la matière blanche.

Il est bon de faire remarquer que les phénomènes décrits dans cette Note ne sont nullement particuliers aux seuls mélanges obtenus avec les disques rotatifs. Tout procédé permettant de mêler, ou mieux de superposer deux sensations lumineuses, donne le même résultat. Tels sont : le stéréoscope, le prisme biréfringent et le procédé Lambert, qui consiste à superposer l'image d'un objet, vu par réflexion, à un autre objet vu par transparence à travers une glace sans tain. Mais ces divers procédés ne permettent

d'obtenir qu'un seul dérivé, celui qui résulte de la superposition de surfaces égales blanches et colorées, tandis que le disque rotatif permet de faire le mélange des impressions en toute proportion.

Les applications qui découlent des diverses propositions que j'ai démontrées expérimentalement dans ce qui précède sont nombreuses; je les décrirai ultérieurement. Pour le moment je ne veux en déduire qu'une seule conclusion purement scientifique : elle est relative à l'action physique des matières colorantes sur la lumière blanche et se résume en deux propositions : La couleur d'une matière colorante varie avec l'épaisseur sous laquelle elle est vue; elle est d'autant plus rapprochée du rouge que l'épaisseur en est plus grande et d'autant plus rapprochée du vert que cette épaisseur est plus faible. Toute matière colorante, quelque pure qu'elle soit, éteint totalement une partie de la lumière blanche incidente.

IV. — Études sur les cercles chromatiques de M. Chevreul.

Une des plus intéressantes applications des cercles rotatifs, c'est l'étude des cercles chromatiques de M. Chevreul. On sait que, pour établir ces cercles, qui sont actuellement le moyen le plus rationnel de définir et de classer les couleurs, M. Chevreul a pris comme point de départ les trois couleurs que les artistes considèrent comme primaires : le rouge, le jaune et le bleu. Les considérant comme équidistantes à la vue, il les a placées à égale distance l'une de l'autre sur une circonférence et a fait intercaler entre chaque couple vingt-trois intermédiaires, aussi équidistants que possible. L'ensemble de ces soixante-douze couleurs, choisies à la même hauteur de ton, constitue le premier cercle chromatique. Chacune d'entre elles forme ensuite le point de départ de toute une série d'autres couleurs, résultant de sa modification par le blanc, par le noir, ou par les deux à la fois.

L'ensemble des dégradations d'une couleur, allant d'un côté vers le noir, de l'autre vers le blanc, s'appelle *gamme*. La gamme est divisée en vingt tons, dont le dixième, situé à égale distance des extrémités, représente la couleur franche du premier cercle. Entre le noir et le blanc, M. Chevreul a intercalé vingt tons de gris parfaitement incolores; le dixième ton de cette gamme est à égale

distance entre le noir et le blanc et paraît à la vue aussi foncé que les couleurs franches du premier cercle. Entre le dixième ton de la gamme du noir et chaque couleur franche du premier cercle, M. Chevreul a intercalé neuf couleurs représentant le passage gradué de cette couleur au gris incolore. Chacune de ces neuf couleurs forme elle-même le dixième ton d'une gamme allant, comme celles du premier cercle, du noir au blanc. Tous les cas possibles se trouvent donc réalisés par cette combinaison, et chaque couleur de la nature y trouve sa place.

Cette construction chromatique a été réalisée sous la direction de M. Chevreul par les teinturiers des Gobelins, c'est-à-dire par des hommes dont l'œil a reçu une éducation exceptionnelle pour juger des couleurs. Les cercles chromatiques constituent donc comme conception et comme exécution un document de la plus grande valeur pour l'étude des jugements de l'œil, en ce qui concerne l'équidistance soit des couleurs franches, soit des tons d'une même gamme, soit enfin des intermédiaires entre la couleur franche et le gris incolore de même hauteur de ton.

J'ai tenté de faire cette étude à l'aide des disques rotatifs ; mais j'ai été limité dans ce travail par ce fait que je n'avais pas le cercle chromatique original à ma disposition. Je me suis servi de la copie chromolithographiée qui en a été faite par M. Digeon, et qui se trouve dans le commerce. Cette copie ne s'étend qu'aux dix cercles comprenant les couleurs franches et leur modification par le dixième ton de la gamme du noir. Elle ne donne qu'une seule gamme, celle du bleu. Cette copie présente quelques défauts que je signalerai dans un travail plus étendu. M. Chevreul a bien voulu me permettre de comparer la copie que j'en ai faite moi-même avec les originaux déposés aux Gobelins. Mais, malgré ses imperfections, j'ai pu établir par son étude quelques points qui permettent de porter un jugement sur les propriétés de l'œil en ce qui concerne l'évaluation des distances entre deux couleurs.

Répartition des couleurs dites primaires, *rouge, jaune, bleu dans le premier cercle chromatique.* — Un exemple suffira pour faire comprendre comment on a pu déterminer la proportion des deux couleurs primaires, qui, dans la conception des artistes, constituent ce qu'ils appellent une couleur *composée*. Je suppose qu'il

s'agisse de déterminer la composition de l'orangé, placé par M. Chevreul à égale distance entre le rouge et le jaune.

La complémentaire du jaune étant le bleu, je forme, à l'aide de secteurs découpés dans du papier peint, un disque entièrement ouvert d'orangé et de bleu, et je mets en rotation rapide. Le bleu reproduira, avec le jaune de l'orangé, de la lumière blanche, et ne laissera subsister que le rouge. Il n'y a qu'à déterminer par des tâtonnements les angles des secteurs qui forment le rouge sans numéro des cercles chromatiques. La couleur résultante ne sera pas franche; elle sera rabattue par du noir et éclaircie par du blanc.

Il est aisé de reproduire cette couleur avec du rouge dont on couvre des secteurs de blanc et de noir absolu. En disposant cet ensemble en deux cercles concentriques, on facilite la comparaison, et l'on arrive rapidement, en faisant varier, par tâtonnement, les angles des secteurs, à leur donner un aspect identique.

En mettant alors l'appareil au repos, on lit sur un cercle gradué les angles de chaque secteur et l'on trouve que 140° d'orangé + 220° de bleu reproduisent un rouge que l'on a reproduit d'autre part par 218° de rouge, 56° de blanc et 86° de noir. Par un simple calcul de proportion on trouve que cent surfaces d'orangé émettent autant de rayons rouges que cent cinquante-cinq surfaces du rouge qui a servi de type. Pour trouver la proportion de jaune contenue dans le même orangé, on détermine par une expérience préliminaire la relation entre le jaune et le bleu complémentaire, et l'on trouve que 288° de bleu neutralisent 72° de jaune. Les 220° de bleu de la première expérience neutralisent donc 55° de jaune qui sont émis par 140 d'orangé; en réduisant en centièmes, on trouve que 100° d'orangé produisent l'impression de rouge 155° + jaune 40° = 195°.

On remarque de suite que la somme des sensations dépasse 100, ce que j'interprète en disant que l'orangé du cercle que j'ai copié est plus vif que ne le sont le rouge et le jaune du même cercle; il aurait donc fallu le rabattre ou bien choisir comme unité du rouge ou du jaune plus vifs. Le défaut que je signale ne saurait avoir d'influence sur le rapport qui existe entre les deux couleurs primaires qui constituent l'orangé. J'ai procédé de même pour tous les numéros pairs du premier cercle chromatique, en répétant les expériences à diverses époques pour avoir des valeurs moyennes.

Dans le cours de ce travail, je n'ai pas manqué de constater qu'il est impossible de classer le vert par rapport au jaune et au bleu. Ces deux couleurs étant complémentaires, le mélange de leurs impressions ne produit jamais la sensation du vert; ce résultat n'est, du reste, pas nouveau; il confirme les expériences déjà anciennes de MM. Plateau, Helmholtz et Maxwell. J'ai dû prendre comme auxiliaire une quatrième couleur : c'est le quatrième vert, complémentaire du rouge, de sorte que j'ai opéré avec deux couples de couleurs complémentaires, le rouge et le quatrième vert, le jaune et le bleu. Je ne donnerai pas le résultat numérique des expériences : il suffira d'en présenter le résumé.

J'ai porté sur un papier quadrillé les valeurs obtenues, en représentant par des ordonnées équidistantes la quantité de chaque couleur primaire trouvée dans chaque intermédiaire, après avoir ramené à l'unité de surface. En réunissant par une ligne les extrémités des ordonnées, on constate qu'elle est à peu près droite; on ne pourrait la remplacer par une courbe vraisemblable. Elle oscille de côté et d'autre de la droite, comme le fait un sentier tracé entre deux points. L'image du sentier qui serpente à travers la plaine rend assez bien compte de la manière dont l'œil juge l'équidistance des couleurs. Il ne faut pas oublier que je n'ai travaillé qu'avec la copie d'un cercle qui n'est lui-même qu'une copie d'un cercle chromatique. L'original des Gobelins, d'une exécution bien supérieure, aurait assurément donné des écarts encore moindres et le tracé se serait rapproché davantage d'une droite.

En dehors de cette question, j'ai étudié l'équidistance à la vue entre une couleur franche et le dixième ton de gris de la gamme du noir. Je n'ai pu opérer que sur le rouge, parce qu'il est la seule couleur qui ne subisse pas l'altération que j'ai désignée plus haut sous le nom de *perte de rouge,* quand on la modifie par du noir ou du blanc; car le disque rotatif ne permet de comparer entre elles que des couleurs qui ont même complémentaire, parce qu'elles seules ont une commune mesure. Ici encore j'ai trouvé que la ligne droite représente le passage gradué de la couleur au gris de même hauteur, résultat qui a pu être contrôlé par la voie synthétique.

Dans ce but, je compose un gris qui est à la vue de même hauteur de ton que le rouge du dixième cercle; il est obtenu par 32° de lumière blanche et 228° de noir absolu. J'obtiens alors le rouge

du deuxième cercle, qui est, on le sait, rabattu de $\frac{1}{10}$ de noir, en couvrant le disque d'un secteur de 36° de gris et de 228° de rouge; on met en rotation rapide et l'on constate son identité avec le rouge du deuxième cercle, que l'on a peint sur un petit disque placé au centre du premier. Toutes les autres intermédiaires s'obtiennent de même, en donnant aux secteurs gris et aux secteurs rouges des angles qui sont entre eux comme les chiffres 2 à 8, 3 à 7, 4 à 6, 5 à 5, etc.

On donne à l'expérience une forme plus saisissante en disposant les différents disques dont je viens de parler en anneaux concentriques. En mettant en rotation rapide, on voit, disposés autour du même centre, les différentes couleurs marquant par degré le passage du rouge au gris. L'équidistance à la vue des neuf intermédiaires est des plus satisfaisantes et l'œil éprouve un plaisir incontestable à regarder cet ensemble.

Cette expérience synthétique prouve que l'équidistance à la vue est bien représentée par une progression arithmétique. Cette progression ne se rapporte nullement au mélange des matières qui ont servi à produire les deux extrêmes, mais uniquement au mélange des sensations excitées par la vue de ces mêmes extrêmes.

En prenant pour guide le disque rotatif, il est facile d'obtenir une dégradation régulière d'une couleur donnée; mais les teinturiers des Gobelins n'avaient pas ce guide; ils ont su arriver au même résultat, uniquement conduits par leur grande habitude de juger les couleurs : propriété remarquable de l'œil exercé, qu'il était bien intéressant de constater.

Résumé. — Ainsi, pour résumer, l'étude que j'ai faite des cercles chromatiques m'a permis de constater que ce que M. Chevreul a appelé l'*équidistance* entre couleurs est bien le résultat du mélange des sensations colorées, suivant une progression arithmétique. Il m'a été impossible de reconnaître la relation qui existe entre les tons d'une gamme quand la couleur est modifiée par le blanc; car la copie lithographiée ne contient aucun document utilisable pour cette étude. Nous savons que, à cause du phénomène de la perte de rouge, la seule gamme du rouge et aussi celle du noir auraient pu servir à cette étude; pour toutes les autres gammes, chaque ton a une autre complémentaire, et dès lors il n'y a plus entre eux aucune commune mesure.

V. — Analyse optique des noirs du commerce.

Il m'a paru intéressant de déterminer le rapport qui existe entre le noir absolu et les corps noirs du commerce. Ces derniers, renvoyant à l'œil une certaine quantité de lumière, paraissent d'un gris foncé, si on les place devant l'orifice noir qui a servi à mes expériences.

La quantité de lumière renvoyée par eux peut être aisément mesurée à l'aide du disque rotatif. On n'a qu'à faire tourner dans le plan de l'orifice des secteurs blancs d'un angle convenable, ou, ce qui est plus commode, des secteurs gris d'une valeur optique déterminée par une expérience préalable. La comparaison est facile si l'on fixe les tissus ou autres corps noirs, sur de petits disques en papier fort, que l'on place au centre de l'orifice. On cherche par tâtonnement l'angle du secteur gris qui produit la même sensation que la vue du corps noir.

Cet angle donne la mesure de la lumière blanche émise par lui. Il y a une circonstance qui introduit de l'incertitude dans cette mesure ; c'est la coloration des noirs du commerce. En effet, aucun n'est entièrement incolore. On est donc obligé d'employer, outre les secteurs gris, encore des secteurs colorés ; or ces secteurs envoient à l'œil non-seulement de la lumière colorée, mais aussi de la lumière blanche en proportion inconnue. Cette quantité est négligeable quand il s'agit de secteurs de 2° ou de 3° ; mais quand il en faut de plus grands, l'incertitude augmente.

Néanmoins, la comparaison des noirs entre eux est intéressante. Le tableau suivant donne les résultats obtenus pour quelques noirs que l'on peut considérer comme des types de fabrication.

Désignation.	Lumière blanche, lumière colorée, exprimées en degrés du cercle.		
	°		
Velours de soie noir.....	0,75		
Drap de laine par teinture.....	7,3	Violet bleu	2°.
Drap de laine par impression.....	8,0	3e bleu	8°.
Noir sur soie; faille de Lyon.....	8,4	3e bleu	8°.
» » moins belle....	10,1	Violet bleu	6°.
Noir sur coton ; teinture en campêche.	10,8	Violet bleu	5°.
Noir d'aniline.....	10,0	Violet bleu	8°.
Noir de fumée.....	13,9	5e orangé	1°.

En comparant les données contenues dans ce tableau avec l'appréciation des connaisseurs au sujet des mêmes noirs, on reconnaît que l'*intensité* d'un noir est en raison inverse de la quantité de lumière blanche. La *beauté* du noir dépend de sa couleur. Le plus beau est le noir incolore; le velours de soie en offre un exemple, il est aussi le plus intense.

La couleur qui nuit le moins au noir est le *bleu;* il est aussi la couleur la moins lumineuse du spectre. Plus la couleur devient lumineuse, plus elle nuit; aussi les plus mauvais noirs sont ceux colorés en *jaune orangé*, dont le noir de fumée donne un exemple.

Le disque rotatif nous permet donc d'exprimer par des chiffres la valeur relative des noirs; peut-être trouvera-t-on quelque intérêt à se laisser guider par ces indications.

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Bline (G.), sous-lieutenant au 95e régiment d'infanterie, à Dijon ; Marcel Deprez, ingénieur à Paris ; Francisco Estrada, recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique) ; Rousse, professeur au lycée de Saint-Étienne ; Valby, pharmacien à Dijon.

M. Duter présente à la Société des aimants obtenus en soumettant des plaques circulaires d'acier à l'action d'un électro-aimant terminé par une pointe conique appuyant au centre du disque.

M. Mascart présente l'appareil employé par M. Cailletet et construit par M. Ducretet, pour liquéfier le bioxyde d'azote.

Des plaques circulaires aimantées où les lignes isodynamiques sont des circonférences concentriques; par M. Duter.

Dans ce travail j'envisage des aimants, entièrement nouveaux, je crois, et où la distribution du magnétisme est incomparablement des plus simples. Ces aimants sont des disques circulaires pleins ou évidés en anneaux taillés dans des plaques d'acier de 1^{mm} d'épaisseur. Je vais immédiatement parler de leur formation.

I. *Aimantation des plaques circulaires, où les lignes isodynamiques sont des circonférences concentriques.* — Si l'on place, sur le pôle d'un électro-aimant très-puissant terminé en pointe et perpendiculairement à son axe, un disque circulaire mince (de 1^{mm} d'épaisseur, par exemple) et dont le centre est au pôle de l'électro-aimant, on constate qu'après la séparation de l'électro-aimant et du disque ce dernier reste aimanté. Si l'on y projette de la limaille de fer, de façon à former un fantôme magnétique, on constate que cette limaille se dispose en files dirigées suivant les rayons du disque. On constate, en promenant un rayon quelconque du disque devant un pôle d'aiguille aimantée, que le centre de la plaque est un pôle d'un certain nom (austral par exemple), que le magnétisme austral de la plaque diminue à mesure qu'on va du centre vers les bords jusqu'à devenir nul et qu'ensuite on ne trouve plus que du magnétisme boréal croissant jusqu'au bord.

Ainsi, dans un de mes disques, les deux magnétismes, austral et boréal, sont distribués de telle façon que l'un d'eux occupe une plage centrale et l'autre une plage marginale entourant la première.

Il n'est pas nécessaire, pour obtenir des effets semblables, que le disque soit plein; des anneaux plats terminés par deux cercles concentriques donnent une distribution analogue. Pour aimanter ces anneaux, il me suffit de les placer sur un électro-aimant très-puissant dont la tranche polaire s'adapte exactement au creux de l'anneau.

L'épreuve préliminaire faite avec l'aiguille aimantée et la limaille

de fer conduit encore à cette conséquence que les deux magnétismes occupent des régions concentriques, le maximum de l'un existant sur une des circonférences terminales et le maximum de l'autre sur l'autre circonférence terminale; enfin les lignes d'aimantation sont les rayons de l'anneau.

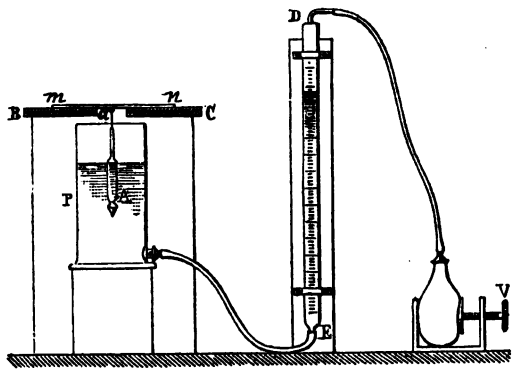
II. *Mesure du magnétisme libre.* — Pour mesurer le magnétisme libre répandu sur ces plaques, j'ai employé, comme je l'avais déjà fait dans un travail précédent, la méthode de l'arrachement: cette méthode est celle de M. Jamin, et elle a conduit l'illustre physicien aux résultats très-nombreux et très-importants que l'on sait.

Dans l'application de ce procédé, je me suis attaché à rendre le contact extrêmement petit, afin de ne pas altérer, par son approche, la distribution du magnétisme sur l'aimant à étudier; je l'ai fait en outre avec du fer parfaitement doux.

Pour cela, j'ai pris des cylindres de fer assez volumineux que j'ai mis dans de l'acide sulfurique étendu, jusqu'au moment où ils ont été réduits aux dimensions de très-petits grains de limaille. Pour mesurer les arrachements d'aussi petits contacts, j'ai eu recours à un artifice particulier.

Chaque petit grain de fer est fixe à l'extrémité *a* (*fig.* 1) du

Fig. 1.



canal d'un tube capillaire; ce tube capillaire termine lui-même un aréomètre cylindrique A flottant sur l'eau. Au-dessus de l'aréo-

mètre se trouve une table de bronze BC supportant la plaque aimantée *mn*. La table est percée d'un trou par où s'engage la pointe de l'aréomètre, de telle sorte que le fer puisse venir toucher la plaque.

Voici par quelles dispositions j'assure le contact : le vase cylindrique P communique avec l'extrémité inférieure E d'un tube gradué ED. L'extrémité supérieure D de ce tube communique avec une poire de caoutchouc hermétiquement fermée et qui peut être comprimée par le jeu d'une vis V.

Si l'on vient à tourner dans un sens convenable la vis V, on comprime l'air de la poire ; cet air fait remonter l'eau dans le vase P, et il arrive un moment où le contact vient toucher la plaque *mn*. L'instant précis de ce contact est donné par un signal électrique. Le point où l'eau s'arrête dans le tube ED est pris comme zéro. Si dans cette opération la plaque *mn* était aimantée, elle pourrait attirer le contact, et la détermination précédente serait fautive ; aussi ai-je eu soin d'opérer avec une plaque métallique non magnétique, et c'est quand le zéro est obtenu que je le remplace en *mn* par la plaque à étudier. Une graduation tracée sur la table supérieure en bronze permet d'amener au-dessous du contact tel point que l'on veut de la plaque aimantée. Enfin, si l'étude d'un aimant doit avoir une certaine durée, il faut rechercher le zéro du tube gradué de temps en temps, afin de se mettre à l'abri des erreurs dues à l'évaporation.

Quand on a ainsi assuré le contact, il est très-facile d'avoir la force d'arrachement. En effet, en détournant la vis V, on diminue la pression de l'air dans la poire, et l'eau du vase P s'écoule ; la poussée de cette eau sur le flotteur diminue d'une façon continue, et il arrive un moment où la perte de poussée de cette eau sur le flotteur est justement égale à la force qui relie le contact à l'aimant. La quantité d'eau écoulée dans le tube gradué est proportionnelle à cette force. Dans mon appareil la section du vase P vaut environ 101 fois celle du flotteur, de sorte que, pour 1^{gr} de force d'arrachement, il passe 100^{gr} ou 100^{cc} dans le tube gradué ; comme, en outre, ce tube est divisé en dixièmes de décimètre cube, on obtient très-facilement une approximation de 1^{mgr}. Les plus grandes forces mesurées avec cet appareil étaient de $0^{gr},2$. Je me suis servi dans mes mesures de trois petits contacts différents,

qui m'ont toujours donné au même point des nombres proportionnels.

Enfin rien de plus facile que de se mettre à l'abri de trépidations, en faisant reposer tout le système sur des feuilles de feutre.

III. *Loi de distribution du magnétisme libre sur les plaques circulaires à lignes isodynamiques concentriques.* — 1° Si les aimants sont des anneaux plats de même épaisseur, dont le rayon extérieur est R et le rayon intérieur r, la distribution du magnétisme sur un rayon quelconque est donnée par la formule

$$(1) \qquad M = A \sin \frac{\pi (R^2 + r^2 - 2x^2)}{2(R^2 - r^2)};$$

x est la distance au centre de la plaque du point où le magnétisme est M.

A est constant pour des anneaux de rayons différents, si ces anneaux ont été taillés dans la même feuille d'acier.

Il résulte de cette formule que la ligne où le magnétisme libre est nul est une circonférence dont le rayon est $\sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}$. On voit que le magnétisme libre est le même en tous les points d'une circonférence, dont le centre coïncide avec celui de la plaque. Le magnétisme libre, répandu entre deux circonférences infiniment voisines, est

$$M\, 2\pi x\, dx,$$

et le magnétisme libre sur une étendue annulaire quelconque de la plaque est l'intégrale définie

$$(\alpha) \qquad \int_{x_0}^{x_1} M\, 2\pi x\, dx,$$

les limites x_0 et x_1 de l'intégrale étant les rayons des circonférences qui bordent cette étendue.

Pour avoir tout le magnétisme libre d'un certain nom, par exemple celui qui est dans la zone intérieure de la plaque, il suffira de remplacer x_0 et x_1 par r et $\sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}$; on trouve de la sorte,

pour l'intégration ainsi définie,

$$T = A(R^2 - r^2);$$

or A est constant : donc

Les totalités de magnétisme libre répandu sur les anneaux définis plus haut sont proportionnelles à leur surface.

Il est inutile d'ajouter que, si l'on étend l'intégrale définie (α) à toute la plaque, on obtient zéro pour valeur de cette intégrale.

2° Si les aimants sont des disques pleins de rayons R, on obtient la formule

$$(2) \qquad M = A\,\frac{\sin\pi(R^2 - 2x^2)}{2R^2},$$

ou, ce qui revient au même,

$$(3) \qquad M = A\,\frac{\cos\pi x^2}{R^2};$$

cette formule (2) est un cas particulier de la formule (1), où $r = 0$.

Dans cette formule (1), A est constant, quel que soit R et, de plus, a la même valeur que pour les anneaux, si les anneaux et les disques ont été taillés dans la même feuille d'acier.

La formule (2) conduit aux mêmes conséquences que la formule (1), c'est-à-dire que la totalité T de magnétisme libre répandu sur un disque est donnée par la formule

$$T = AR^2,$$

c'est-à-dire qu'elle est proportionnelle à la surface de la plaque.

Les plaques sur lesquelles j'ai opéré étaient taillées dans une même feuille de 1^{mm} d'épaisseur, mais ont des rayons variables compris entre $2^c,5$ et $12^c,5$.

Je donne les tableaux relatifs à quatre disques; dans ces tableaux, D est la distance au centre, M est le magnétisme sur un point de rayon, et C est le magnétisme répandu sur toute une circonférence, dont le rayon est D; les nombres mesurés que je donne sont, pour chaque plaque, les moyennes obtenues en considérant quatre rayons.

Disque de rayon 12^c,5.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,58	4,58	0
1	4,58	4,57	0,45
2	4,58	4,56	0,91
3	4,49	4,50	1,35
4	4,36	4,34	1,73
5	3,92	4,01	2,00
6	3,40	3,43	2,06
7	2,56	2,53	1,77
8	1,31	1,29	1,03
9	»	—0,25	—0,22
10	—1,88	—1,93	—1,93
11	—3,41	—3,46	—3,81
12	—4,44	—4,43	—5,32
12,5	—4,58	—4,58	—5,72

Disque de rayon 7^c,5.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,55	4,58	0
1	4,55	4,57	0,45
2	4,40	4,46	0,89
3	4,00	4,01	1,20
4	2,80	2,86	1,14
5	»	0,79	0,39
6	—1,90	—1,95	—1,17
7	—4,17	—4,20	—2,94
7,5	—4,50	—4,58	—3,43

Disque de rayon 5^c.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,54	4,58	0
1	4,52	4,54	0,45
2	3,94	4,01	0,80
3	1,98	1,95	0,48
4	—1,95	—1,95	—0,78
5	—4,50	—4,58	—2,29

Disque de rayon $2^c,5$.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,51	4,58	0
1	4,07	4,01	0,40
2	—1,90	—1,95	—0,39
2,5	—4,50	—4,58	—1,14

IV. *Conclusion.* — On sait que, dans la théorie mathématique, Poisson a cherché à faire entrer dans ses formules de distribution du magnétisme une constante caractéristique des propriétés magnétiques du corps étudié; cette constante, qu'il nommait la *constante magnétique,* était le moment magnétique de l'élément de volume, soumis à l'influence de l'unité de force. Mais les expériences les plus nombreuses et les plus variées, faites depuis les travaux de Poisson, montrent que la quantité que Coulomb nomme *constante magnétique* est essentiellement variable : on la nomme aujourd'hui *fonction magnétisante,* et son étude est une des plus importantes et des plus intéressantes qu'offre le magnétisme.

Dans les aimants dont je m'occupe, j'ai réussi à caractériser les propriétés magnétiques de l'acier par une seule constante; mais c'est en leur donnant la même épaisseur et la forme simple que l'on a vue plus haut, telle que la symétrie existe par rapport à un point. J'ajouterai enfin que la forme que je donne aux aimants me fournit une vérification de ma méthode de mesure, puisque j'obtiens les mêmes quantités de magnétisme austral et de magnétisme boréal, bien que ces deux magnétismes soient distribués sur deux plages qui ne sont pas superposables, comme dans le cas des aimants ordinaires, longs et étroits, où la forme est telle que, quelle que soit la méthode de mesure, on trouve nécessairement des quantités égales des deux magnétismes.

Liquéfaction des gaz; par M. Brillouin.

Les expériences récentes de M. Cailletet ont rappelé l'attention sur le problème de la liquéfaction des gaz. Il n'est pas sans intérêt de retracer comment le nombre des gaz non liquéfiés fut promptement réduit à six, comment l'étude des liquides produits a conduit à de nouveaux essais, et de faire connaître les derniers résultats obtenus.

I. *Historique.* — Les premières expériences systématiques de liquéfaction des gaz sont dues à Faraday (1). Il produisait le gaz dans une branche d'un tube de verre en forme de V renversé, fermé à la lampe, et l'obtenait liquide dans l'autre branche refroidie. Les acides sulfureux, sulfhydrique, carbonique, hypochlorique, chlorhydrique, le protoxyde d'azote, le cyanogène, le chlore, le gaz ammoniac furent ainsi liquéfiés.

En appliquant la même méthode, avec des appareils de plus grandes dimensions, Thilorier (2) a liquéfié et même solidifié l'acide carbonique; Natterer (3) solidifia le protoxyde d'azote en le comprimant dans un réservoir par une simple action mécanique.

Faraday (4), frappé des observations de Cagniard de Latour sur la température de volatilisation totale, sentit la nécessité de refroidir le gaz au-dessous de cette température. Dans la nouvelle série de recherches qu'il entreprit alors, le gaz pouvait être comprimé jusqu'à 50^{atm}, et refroidi en même temps à $-110°$ C., par évaporation dans le vide du mélange d'acide carbonique solide et d'éther. Il liquéfia ainsi le gaz oléfiant, les acides fluoborique et fluosilicique, l'hydrogène phosphoré, l'hydrogène arsénié (déjà liquéfié par MM. Dumas et Soubeyran). Il solidifia les acides bromhydrique et iodhydrique, mais non l'acide chlorhydrique; les acides sulfureux, sulfhydrique, carbonique, hypochlorique, le protoxyde d'azote, le cyanogène et le gaz ammoniac. L'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le bioxyde d'azote,

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique,* t. XXIV, p. 403; 1823.
(2) *L'Institut,* t. II; 1834. — *Annales de Chimie et de Physique,* t. LX, p. 427; 1835.
(3) *Ann. de Pogg.,* t. LXII, p. 132; 1844.
(4) *Annales de Chimie et de Physique,* t. XIII et XV, p. 257; 1845.

l'oxyde de carbone et le gaz d'éclairage ne purent être liquéfiés.

M. Berthelot (1) reprit ces expériences en enfermant le gaz dans la partie supérieure d'un thermomètre à mercure ou à acide sulfurique, à parois très-résistantes. La pression exercée par le liquide chauffé pouvait atteindre jusqu'à 800^{atm}, lors de la rupture du tube. Les liquéfactions déjà connues s'obtinrent facilement, en refroidissant, par de la glace ou par évaporation de l'éther, la partie du tube qui contenait le gaz; mais aucun des gaz dits *permanents* ne put être liquéfié dans ces circonstances.

Natterer (2) soumit ces mêmes gaz à des pressions qu'il évalue à 1354^{atm} pour l'oxygène, et 2790^{atm} pour les autres, sans pouvoir les liquéfier.

M. Andrews (3), en combinant l'action du mélange réfrigérant de Faraday et de pressions plus grandes, vit ces mêmes gaz conserver leur état, quand le volume était réduit à une fraction de volume initial :

Pour l'air	$\frac{1}{675}$
» l'oxygène	$\frac{1}{554}$
» l'hydrogène	$\frac{1}{500}$
» l'oxyde de carbone	$\frac{1}{278}$
» le bioxyde d'azote	$\frac{1}{680}$

M. Melsens (4) a utilisé l'absorption des gaz par le charbon, et leur dégagement par élévation de la température, pour liquéfier facilement, dans un appareil de Faraday, l'acide sulfureux, le chlore, l'éther chlorhydrique, le cyanogène, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque et l'acide iodhydrique.

Les liquides et les gaz dans le voisinage du changement d'état présentent des propriétés physiques singulières et tout à fait inattendues. Dès 1822, Cagniard de Latour (5) a constaté qu'un liquide (l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone, l'eau) peut se transformer totalement en vapeur, dans un espace peu supérieur à celui qu'il occupait. Par exemple, sous une pression de 37^{atm},

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXX; 1850.

(2) *Annales de Pogg.*, t. XCIV; 1854.

(3) *Report of British. Assoc.*, 1861.

(4) *Journal de Physique*, t. III, p. 27. Dans l'article cité ici, l'acide cyanhydrique est indiqué à tort au lieu de l'acide iodhydrique.

(5) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXI et XXII.

l'éther se vaporise totalement dans un volume triple de son volume initial, dans un volume sextuple sous la pression de 42^{atm}; c'est d'ailleurs à la même température de 150° R. que la transformation a lieu dans les deux cas.

La dilatation du liquide avant la vaporisation est considérable : l'alcool double de volume. La vapeur elle-même a un coefficient de dilatation énorme. Thilorier (1) a retrouvé des propriétés analogues dans l'acide carbonique liquide qui, de zéro à + 30°, se dilate 4 fois plus que les gaz permanents.

Cette observation de Thilorier avait laissé des doutes, mais Drion (2), en étendant ses recherches à trois corps de nature chimique très-différente, l'éther chlorhydrique, l'acide sulfureux et l'acide hypoazotique, a constaté l'accroissement rapide du coefficient de dilatation dans le voisinage du point de volatilisation totale. Les expériences n'ont pu donner que le coefficient de dilatation apparente, évidemment inférieur au coefficient absolu, tant à cause de l'évaporation que de la compressibilité du liquide et du réservoir. Ainsi, l'acide sulfureux à 130°, c'est-à-dire à une température inférieure de 10° à celle de la volatilisation totale, a un coefficient de dilatation presque triple de celui des gaz.

II. *Du point critique.* — Les idées émises par Cagniard de Latour sur la température de volatilisation totale ont été précisées dans un Mémoire de M. Andrews (3) sur la continuité des deux états liquide et gazeux. Les expériences ont porté sur l'acide carbonique, le protoxyde d'azote, l'acide chlorhydrique, le gaz ammoniac, l'éther sulfurique et le sulfure de carbone. C'est de l'acide carbonique, étudié par lui avec le plus grand soin, qu'il sera seulement question ici. L'éprouvette en verre qui contient le gaz est formée de deux parties, un grand réservoir ouvert à sa partie inférieure et un tube capillaire à parois très-épaisses soudé au réservoir et fermé à la partie supérieure. Elle est renversée dans un cylindre d'acier formant cuve à mercure, et assujettie par un fort écrou, que traverse seul le tube capillaire. La pression s'exerce par l'intermédiaire du mercure. Le tube capillaire peut être maintenu à telle température que l'on veut par un bain liquide.

---

(1) *Loc. cit.*
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 1859.
(3) *Philos. Trans.*, t. II, p. 575; 1869.

On saisit facilement les résultats de ces expériences, à la seule inspection des lignes isothermes tracées en prenant pour variables indépendantes le volume v et la pression p d'un kilogramme du corps.

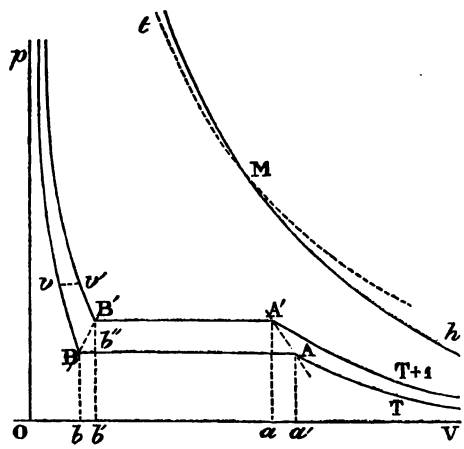
Pour les gaz parfaits, qui suivent les lois de Mariotte et Gay-Lussac, on a

$$pv = \alpha p_0 v_0 T,$$

T étant la température absolue;
α le coefficient de dilatation des gaz;
p_0, v_0 la pression et le volume du gaz à la température absolue $\frac{1}{\alpha}$ de la glace fondante.

Pour une température donnée T, la courbe des états du gaz est une hyperbole équilatère ayant les deux axes pour asymptotes. La grandeur du demi-axe est $\sqrt{2\alpha p_0 v_0 T}$.

Fig. 1.



Pour les gaz facilement liquéfiables, l'expérience montre que la compressibilité est plus grande que ne l'indique la loi de Mariotte: si donc on prend le corps à un état déterminé M (*fig.* 1), et qu'on trace l'hyperbole correspondante h, tous les points de la courbe pour lesquels le volume est moindre seront à gauche de l'hyperbole, les autres au-dessus. La forme sera celle de la courbe t tracée en traits discontinus; elle sera tout entière à gauche et au-dessous de

l'hyperbole, de même température, déduite de la loi de Mariotte.

S'il s'agit d'une vapeur que l'on comprime à température constante, son état est d'abord représenté par une courbe TA (*fig.* 1) analogue à la courbe t; puis, la tension maxima pour cette température une fois atteinte, la liquéfaction commence sans changement de pression, et, tant qu'elle dure, l'état du corps est représenté par une horizontale AB. Cette horizontale correspond à l'existence simultanée du liquide et de la vapeur. Quand tout est devenu liquide, la compressibilité est très-faible, et la courbe remonte presque parallèlement à l'axe Op.

Pour les liquides ordinaires, le volume Ob est une fraction si petite de Oa qu'on ne pourrait pas le représenter sur la figure. Mais, au voisinage du point de volatilisation totale, les expériences de Cagniard de Latour montrent que Ob peut être jusqu'à $\frac{1}{2}$ et jusqu'aux $\frac{4}{5}$ de Oa. Quand la température s'élève, Oa diminue, Ob augmente, et la courbe des points A est la courbe des tensions maxima de la vapeur.

Traçons, par exemple, les deux courbes isothermes pour T et T + 1. La petite horizontale vv' est la dilatation du liquide de T à T + 1, sous la pression constante p. La droite bb' est la dilatation du liquide de T à T + 1, lorsque la pression est constamment égale à la tension maxima; c'est ce qu'on mesure (à la compressibilité près des enveloppes) pour les gaz liquéfiés; et les expériences montrent qu'elle croît très-vite avec la température, et devient bien plus grande (trois et quatre fois) que la dilatation des gaz permanents.

Les expériences de Regnault [1] sur les tensions des vapeurs saturées d'un grand nombre de corps montrent que l'accroissement de tension maxima pour une élévation de température de 1°, c'est-à-dire la distance verticale B'b'' des deux droites AB et A'B', va diminuant quand la température s'élève; cette diminution était particulièrement rapide pour l'acide carbonique, de 25° à 28°, la tension paraissant tendre vers un maximum peu éloigné.

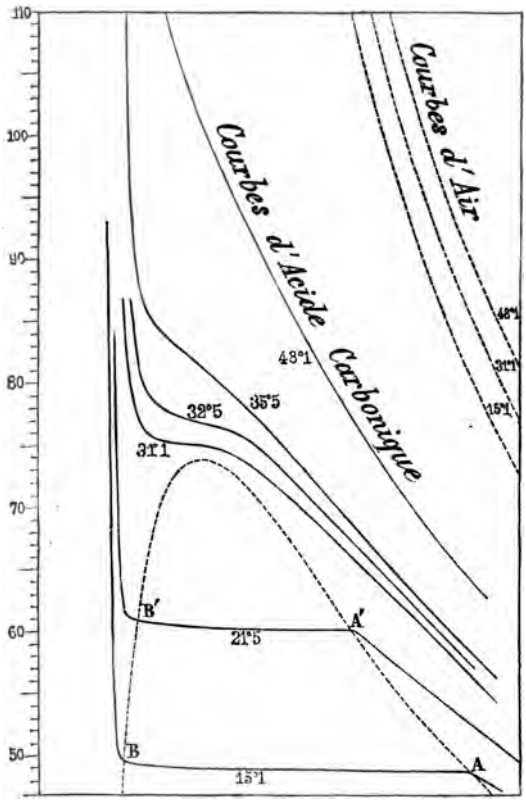
Ainsi, pour ces deux causes, si l'on trace la courbe des points BB' (dont on ne voit qu'un élément sur la figure), l'expérience in-

---

[1] *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXVI, p. 626.

dique qu'elle devient très-concave vers l'axe des volumes. La tension maxima tendant vers un maximum quand la température augmente, la courbe des points AA′ sera aussi très-concave vers l'axe Ov. Ces deux courbes doivent se rejoindre, comme deux bran-

Fig. 2.



ches d'une seule et même courbe AA′B′B (*fig.* 2), dont l'ordonnée maximum correspondrait à la température de volatilisation totale. C'est ce qui a lieu, d'après les expériences de M. Andrews.

En comprimant simultanément, dans deux appareils identiques, de l'acide carbonique et de l'air, et en admettant que la pression soit sensiblement l'inverse du volume de l'air, M. Andrews a pu déterminer par points plusieurs courbes isothermes de l'acide carbonique représentées dans la *fig.* 2, où les ordonnées sont expri-

mées en atmosphères à partir de 47^{atm}. A mesure que la température est plus élevée, la longueur de la partie horizontale de cette courbe diminue, la distinction des deux branches, liquide et vapeur, devient plus difficile ; vers 30°,9, il y a vaporisation totale. Un faible changement de température produit des espèces de stries, comme lorsqu'on mêle des gaz à différentes températures. La courbe n'a plus de partie horizontale du tout. C'est là le *point critique*. Pour des températures un peu plus élevées, la courbe isotherme présente encore un changement de convexité, mais n'a plus de tangente horizontale. Enfin, à 48°, la convexité reste toujours de même sens, et la courbe n'a pas de point d'inflexion.

Ainsi la courbe qui relie les extrémités des parties horizontales se ferme vers le haut; un corps ne peut être en partie gazeux en partie liquide que si son état est représenté par un point situé à l'intérieur de la région ainsi limitée. On peut passer de l'état gazeux à l'état liquide en suivant une courbe qui traverse cette région ; les deux états existant simultanément pendant quelque temps, le changement sera visible. Mais, si l'on suit une série d'états qui ne rencontrent pas cette région, il sera impossible de s'apercevoir du changement; par exemple, M. Andrews a pris de l'acide carbonique gazeux, l'a chauffé vers 50°, et comprimé à 150^{atm}. En le laissant ensuite refroidir au-dessous du point critique, on n'a pu reconnaître à aucun moment le moindre changement physique dans la masse. Cependant le gaz est devenu liquide ; car si l'on diminue la pression, on le voit entrer en ébullition.

Ainsi cette courbe limite une région dans laquelle le passage de l'état liquide à l'état gazeux se fait avec changement brusque des propriétés physiques, où le changement est visible, et les deux états distincts.

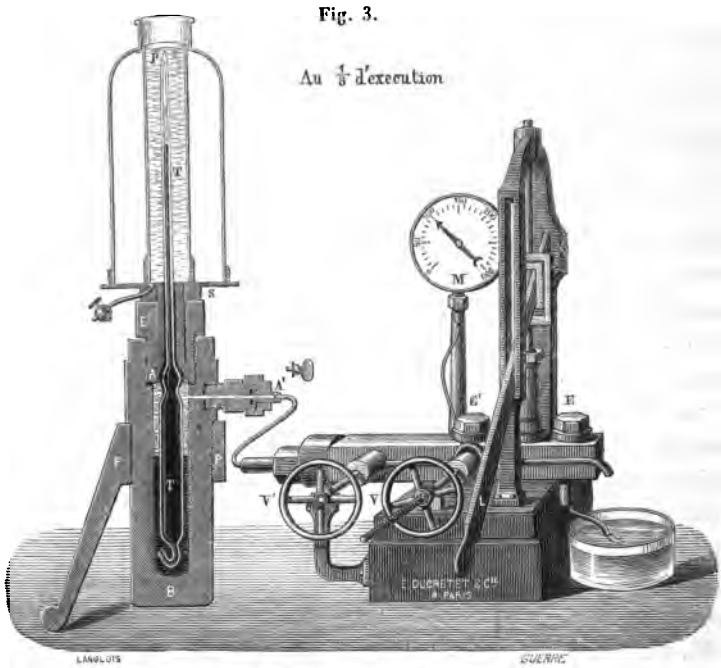
III. *Expériences de M. Cailletet.* — M. Cailletet [1] a entrepris une nouvelle série d'expériences. L'appareil est tout à fait semblable à celui de M. Andrews. La pression est produite par une presse hydraulique (*fig.* 3). Le gaz pur et sec est introduit dans l'éprouvette PT, placée d'abord horizontale, par le tube de caoutchouc H (*fig.* 4) ; quand l'éprouvette est pleine, on la redresse (*fig.* 3), et la goutte de mercure G, en descendant, isole le gaz de l'intérieur. La

---

[1] *Comptes rendus*, novembre et décembre 1877.

figure montre l'éprouvette fixée, par un gros écrou de bronze A, à la cuve de fonte B qui communique avec la presse hydraulique par le tube latéral A'. Dans cet appareil, l'acétylène a été d'abord liquéfié par simple pression. La transformation s'opère encore à 31°; le point critique est donc supérieur à cette température. Pour le bioxyde d'azote, la liquéfaction qu'on n'obtient pas à + 8° se réalise à — 11°, ce qui place son point critique dans le voisinage du zéro. Mais, si on laisse détendre à + 8° le bioxyde d'azote comprimé, le tube se remplit pendant un instant de brouillard. Cette observation a conduit M. Cailletet à une méthode simple et élégante

Fig. 3.

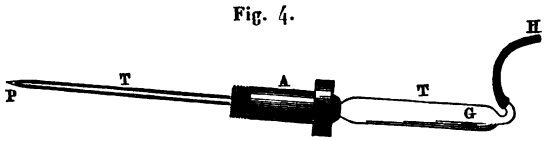


pour montrer la liquéfaction des gaz. Son succès tient au refroidissement considérable du gaz pendant la détente, qui abaisse la température bien au-dessous du point critique. Après avoir comprimé le gaz jusqu'à 250 ou 300^{atm}, on attend quelques instants, pour que l'échauffement dû à la compression ait disparu, puis on ouvre un robinet à vis V' (*fig.* 3), que porte la presse hydraulique; le gaz chasse brusquement l'excès de liquide, et sa pression tombe à 1^{atm}.

Pour nous faire une idée du refroidissement que l'on obtient

ainsi, déterminons l'abaissement de température qui aurait lieu pour un gaz parfait. Supposons que la détente se fasse sans perte

Fig. 4.



ni gain de chaleur, et que la loi de Poisson reste applicable, hypothèse évidemment inexacte dans le cas qui nous occupe, puisque le gaz se liquéfie; on aura

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

γ étant le rapport des deux chaleurs spécifiques, à pression et à volume constants;

T_1, T_2, p_1, p_2, les températures absolues et les pressions au début et à la fin.

Soient, par exemple,

$$T_1 = 273^\circ \text{ glace fondante};$$
$$p_1 = 300^{atm};$$
$$p_2 = 1^{atm};$$
$$T_2 = 273\left(\frac{1}{300}\right)^{\frac{0,42}{1,42}} = 49^\circ,3,$$

c'est-à-dire 233° au-dessous de la glace fondante. On peut bien admettre que si le gaz ne se liquéfie pas, sa température baissera vers 200°. Il est même à remarquer qu'un grand accroissement de la pression initiale n'augmente pas beaucoup le refroidissement. Ainsi, en partant de 2800^{atm}, que Natterer dit avoir obtenues, et de la glace fondante, la température finale, en supposant la loi de Poisson applicable, serait — 250°.

Par cette nouvelle méthode, M. Cailletet a observé un brouillard tout semblable à celui du bioxyde d'azote, avec le formène, l'oxyde de carbone et l'oxygène, pour une pression initiale de 300^{atm}. Dans les mêmes conditions, la détente n'a nullement altéré la transparence des deux derniers gaz permanents, l'azote et l'hydrogène.

ALLOCUTION DE M. ED. BECQUEREL

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ.

(SÉANCE DU 4 JANVIER 1878.)

M. le Président, avant de quitter le fauteuil, dit quelques mots des pertes regrettables que la Société a faites, pendant l'année 1877, de deux de ses membres, MM. Cazin et Ruhmkorff.

M. Cazin, professeur au lycée Fontanes et secrétaire de la Société, a succombé dans la force de l'âge, et ses travaux importants sur la chaleur, l'électricité, le magnétisme et l'optique lui avaient assigné un rang distingué parmi les physiciens les plus laborieux. De concert avec M. Lucas, il est l'auteur de recherches très-intéressantes sur la durée des étincelles électriques, recherches qui ont reçu l'approbation de l'Académie des Sciences ; il a fait partie de l'expédition scientifique à l'île Saint-Paul, pour l'observation du passage de Vénus devant le Soleil et s'est livré, avec un soin extrême, à la reproduction des épreuves photographiques représentant les phases du phénomène ; les fatigues qu'il a éprouvées, lors de cette expédition, lui ont peut-être donné le germe de la maladie qui l'a emporté.

Tous les physiciens connaissaient M. Ruhmkorff, dont le nom restera attaché à l'appareil de Physique (la bobine de Ruhmkorff) qui depuis vingt-cinq ans a peut-être le plus attiré l'attention du monde savant. La santé de M. Ruhmkorff ne lui permettait pas de venir souvent à nos séances, mais il s'informait de tout ce qui s'y passait, et l'annonce d'une découverte nouvelle, d'une expérience intéressante lui causait toujours un plaisir extrême. On sait la libéralité avec laquelle il s'est toujours mis à la disposition des

expérimentateurs et leur a prêté le secours de ses ateliers pour les expériences qu'ils ont voulu faire ; aussi je pense être l'interprète de tous les membres de la Société de Physique, en exprimant les regrets sincères que leur cause la perte de ce grand artiste, de cet éminent constructeur qui aimait si profondément la science.

Dans le cours de l'année 1877 la Société a étendu ses relations et a échangé ses publications avec les Sociétés Royale de Londres, de Physique de Londres, de Physique de Saint-Pétersbourg, de l'Observatoire romain, de la Société des Ingénieurs-télégraphistes, et diverses Sociétés françaises. Elle a acquis la collection complète des *Fortschritte der Physik* depuis 1845, formant plus de trente volumes.

Le Président signale aussi l'accroissement continu du nombre des membres de la Société, il espère que son successeur aura également à constater l'année prochaine un semblable développement, et il exprime le vœu que la Société puisse être reconnue comme établissement d'utilité publique.

CATALOGUE

DE LA

BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1877), in-4°.

Annales de Physique et de Chimie (1873 à 1877), in-8°.

Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1873 à 1876), in-4°.

Annales télégraphiques (3e série, 1874 à 1877), in-8°.

Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1877), in-8°.

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1876), in-8°.

Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1878), in-18.

L'Aéronaute (juillet 1877 à février 1878), in-8°.

Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.

Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).

Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1876), in-4°.

Proceeding's of the Royal Society (t. XXIII, nos 156 à 159; t. XXIV à XXVI, nos 164 à 183, 24 liv.), in-8°.

Philosophical Magazine (1873 à 1877), in-8°.

Annales de Poggendorff (1873 à 1877), in-8°.

Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 5, à 1877), in-8°.

Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1877), in-8°.

Société de Physique de Londres, (novembre 1875 à Jnin 1877), in-8°.

Fortschritten der Physik (1845 à 1873, t. I à XXIX), in-8°, table des t. I à XX.

Bulletin de l'Observatoire Romain. nos 1 à 9 (1877), in-4°.

Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).

Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont*, *Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extr. des *Compt. rendus*).

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 broch. in-8°.

Congrès international des sciences géographiques; 2e session (Paris 1875); Origine et historique du Congrès, broch. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau*.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi leggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropoci dell'idrogeno; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer; par M. *Decharme*, br. in-8°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question température (concours 1872); par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Etude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope ; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique ; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe) ; par M. *Hesehus*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'orgagna in Firenze ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'orgagna in Firenze ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia ; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso manometro regolatore e fornello a petrolio ; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari ; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres ; par M. *Decharme*.

Sur les vibrations tranversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*) ; par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air ; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason ; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur la détonation des mélanges gazeux ; par M. *M. Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique ; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, *suivi* des causes physiologiques de l'harmonie musicale, de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Théorie élémentaire du potentiel ; par M. *Abria*, in-8°.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes ; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system) ; par MM. *Lartigue*, *Tesse* et *Prud'homme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (thèse) ; par M. *Mouton*, in-4°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques ; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865 ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877) ; par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre ;* par M. *Hervé-Mangon*, br. in-4°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie Duplex ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz, par M. *Bobileff* (en russe). br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe) ; par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe) ; par M. *Bergman*, br. in-8°.

Machina dielettrica ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica ; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Filicie Matteucci ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente ; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle ; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6e, 7e et 8e édit.) ; par M. *Duchemin*, 3 br. in-4°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874 ; par M. *Crova*, br. in-4°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique ; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil ; par M. *Le Blanc* (*Félix*), br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry ; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe) ; par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle ; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi*.

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Govi*, opusc. in-18.

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1877.

Lampe d'émailleur ; donnée par M. *Wiesnegg*.
Gazomètre en cuivre ; donné par M. *Wiesnegg*.
Rhé-électromètre ; donné par M. *Melsens*.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

44, RUE DE RENNES, 44.

(1878.)

BUREAU.

MM. BLAVIER, *Président.*
BERTHELOT, *Vice-Président.*
D'ALMEIDA, *Secrétaire général.*
MOUTON, *Secrétaire.*
BOUTY, *Vice-Secrétaire.*
NIAUDET, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non-résidants :*	
MM. BERTHELOT,	1876.	MM. ANDREWS (Belfast),	1876.
BERTIN.		DUCLAUX (Lyon).	
FIZEAU.		GOVI (Turin).	
DU MONCEL.		GRIPON (Rennes).	
D'ARLINCOURT,	1877.	CROVA (Montpellier),	1877.
FERNET.		SECCHI (Rome).	
MAREY.		SPOTTISWOODE (Londres).	
MARIÉ-DAVY.		TERQUEM (Lille).	
BECQUEREL (ED.),	1878.	ABRIA (Bordeaux),	1878.
CAVAILLÉ-COLL.		CAILLETET (Châtillon-sur-Seine).	
JOUBERT.		LISSAJOUS (Besançon).	
MASCART.		WARREN DE LA RUE (Londres).	

MEMBRES HONORAIRES.

BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
BROCH (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
FIZEAU (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
JOULE (J.-P.), de Manchester.
LE P. A. SECCHI, Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
SIR WILLIAM THOMSON, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.

MEMBRES A VIE (1).

MM. Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
D'Almeida, Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
Warren de la Rue, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
Mascart, Professeur au Collége de France, 15, rue Malebranche.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
Niaudet, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Vice-Président de la Société royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
Duboscq, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 52, rue Saint-Georges.
Duclos, Inspecteur de l'Enseignement primaire, à Saint-Girons.
Blavier, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes.
Hugo (Comte Léopold).

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALMEIDA (d'), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
ANDREWS, Queen's College, Belfast (Irlande).
ANGOT, Professeur au Lycée Fontanes, 9, rue Berthollet.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 102, rue Neuve-des-Mathurins.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
AUBOUY, Professeur au Collége de Pézénas.
AUBRY, Professeur au Collége d'Avallon.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.
BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Neuve-Fontaine Saint-Georges.

---

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. IV, dernier paragraphe.)

MM.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.

BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.

BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.

BECQUEREL (**Henri**), Élève des Ponts et Chaussées, 10, rue Gay-Lussac.

BEDOS, Professeur au Lycée de Montpellier.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne).

BENEVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT, Docteur ès sciences, 4, passage des Eaux, à Passy.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 54, rue Madame.

BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.

BERTHEREAU (**Édouard**), Préfet de la Haute-Saône.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.

BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), 34, rue Neuve-des-Mathurins.

BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.

BLINE (**Gaston**), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.

BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, 15, rue Guy-de-la-Brosse.

BOBILEFF, Docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration genérale des lignes télégraphiques.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.

BORGMAN, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de St-Pétersbourg.

BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.

BOUDRÉAUX, Préparateur à la Faculté des Sciences, 100 rue Monge.

BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.

BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.

BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.

BOURGET, Directeur des Études à Sainte-Barbe, rue de Reims.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue de l'Odéon.

BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.

BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.

BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.

MM.

BRÉGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BRÉGUET (**Ant.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue de Savoie.
BRILLOUIN, Préparateur-agrégé au Collége de France.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 21, rue de Turin.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania, Norwége.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABANELLAS (**G.**), Lieutenant de Vaisseau, 72, rue de Longchamps, à Saint-James (Seine).
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CADIAT, 24, rue Meslay.
CAEL, Inspecteur des Télégraphes, à Lille.
CAILLETET, Correspondant de l'Institut, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Saint-Louis, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CHABRERIE, Professeur au Collége de Brives.
CARLES, Directeur des ateliers de l'Administration des Lignes télégraphiques, 173, rue de Vaugirard.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de la *Confiance*, 2, rue Favart.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CLERAC, Sous-Insp^r^ des Lignes télégraphiques, 103, rue Grenelle-St-Germain.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 38, rue des Écoles.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, Directeur de la Manufacture des Tabacs, 63, quai d'Orsay.
COUVREUS, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.
CROIX, Professeur au Collége, 18, Grande Rue, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Laval, 34, rue de Nantes.
DALMAN, Ingénieur, 9, Rembla del Centro, à Barcelone (Espagne).
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DECLERC, Professeur au Collége de Langres (Haute-Marne).

MM.

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Lorient.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée d'Orléans, 4, rue Jeanne d'Arc.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DENAYROUZE (**L.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 3, boulevard Voltaire.
DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, 16, rue Cassini.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boul. Saint-Michel.
DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Poligny (Jura).
DOULIOT, Principal du Collége de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Inspecteur de l'enseignement primaire, à Saint-Girons.
DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 89, rue des Feuillantines.
DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, rue de Vaugirard.
DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.
DUTER, attaché au Laboratoire des hautes études à la Sorbonne.

EGOROFF (**Nicolas**), au Cab^t de Phys^e de l'Université, St-Pétersbourg (Russie).
ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville, 41, rue des Teinturiers.
ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FAVÉ, élève Ingénieur hydrographe, 108, rue du Bac.
FAYE, Membre de l'Institut, 9, chaussée de la Muette, Passy-Paris.
FERNET, Inspecteur Général de l'Université, 93, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FLEETWOOD LAWTON (**George**), Électricien de l'Eastern Telegraph, 8, rue du Pavé-d'Amour, à Marseille.
FONTAINE (**Hippolyte**), 52, rue Saint-Georges.
FONTBONNE (l'abbé), aumônier de l'hôpital militaire de Bône (Algérie).
FOURNIER (**Félix**), 115, rue de l'Université.
FRIDBLATT (**A.**), Contrôleur du Télégraphe, à Chaumont (Haute-Marne).
FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARBE, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.
GARÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

MM.

GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.
GARZA (**Pedro**), Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).
GAUGAIN, 1, rue d'Assas.
GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.
GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.
GAYON, Chimiste en chef de la Douane des sucres, à Bordeaux.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.
GIRARD (**Ch.**), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.
GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.
GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.
GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.
GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).
GOSSIN, Proviseur au Lycée de Marseille.
GOTENDORF (**Silvanus**), 43, rue Richer.
GOVI, Professeur à l'Université de Turin, 2, rue de Grammont.
GRAY (**Matthew**), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.
GRAY (**Robert Kay**), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.
GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.
GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Nîmes, 24, rue Dorée.
GROGNET (**L.**), Chimiste, manufacturier à Dijou.
GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.
GUELPA, Principal du Collége de Sétif.
GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
HARMAND, Sous-Chef des ateliers au chemin de fer de l'Est, à Épernay.
HESEHUS (**N.**), Attaché à l'Université de Saint-Pétersbourg.
HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).
HUGO (**le Comte Léopold**), 94, rue de la Victoire.
HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.
HUREAU DE VILLENEUVE (**le Dr**), 95, rue Lafayette.
HURION, Professeur à l'École de Cluny (Saône-et-Loire).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

JABLOSCHKOFF, Ingénieur, 31, rue d'Offemont (place Malesherbes).
JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collége de Tourcoing.
JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.

MM.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.
JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophthalmologie, 25, rue St-Roch.
JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
JÉNOT, Professeur au Lycée, à Nancy.
JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).
JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.
JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 52, rue Saint-Georges.
JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 50, rue Gay-Lussac.
JOULE (**J.-P.**), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester.
JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 26, rue de Pontoise.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).
LAFOREST (**de**), Lieutenant-Colonel du 33e de ligne, à Arras.
LALANCE (**l'Abbé**), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.
LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.
LAPORTE, Lieutenant à l'École militaire des sous-officiers d'Infanterie, au camp d'Avord (Cher).
LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.
LATTES (**Oreste**), Ingénieur à Turin (Italie).
LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Sous-Directeur de l'École de Cluny (Saône-et-Loire).
LE BLANC (**Félix**), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.
LEBOSSÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).
LECARME, Professeur au Collége Chaptal.
LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.
LECOAT, Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), à Cognac.
LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.
LERMONTOFF, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de St-Pétersbourg.
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 38, quai Henri IV.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte (Corse).
LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LEVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Lorient.
LIPPMANN, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, 59, rue des Feuillantines.
LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Rochefort.
LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Besançon.
LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 49, rue des Noyers.

MM.

MACÉ, Professeur au Lycée, à Grenoble.
MALLEZET, Architecte, 22, rue de Turgot.
MANGIN, Lieutenant-colonel, du Génie, 18, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 15, rue Malebranche.
MASSE, Professeur au Collége d'Épernay.
MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 10, rue Hautefeuille.
MAUMENÉ, Chimiste, 91, avenue de Villiers.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 103, rue de Grenelle-Saint-Germain.
MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).
MEURIEN, Pharmacien, à Lille.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.
MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (**Comte du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques.
MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.
MOUCHOT, Professeur au Lycée, à Tours.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Directeur-adjoint du Laboratoire des Hautes Études, 61, rue des Feuillantines.
MUIRHEAD (**Dr Alexandre**, F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.
MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (**David**), Chimiste, au chemin de fer de l'Est, 15, rue Pigalle.
NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER (**Jules**), 45, rue de Chabrol.

PACHE (**Alf.**), Ingénieur, 20, rue des Orphelins, à Mulhouse.
PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.
PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Marseille.
PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Fontanes, 21, rue Monge.

MM.

PÉRIGNON, 105, faubourg Saint-Honoré.
PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.
PERNET (**Dr J.**), chargé des fonctions de Directeur du Bureau international des poids et mesures.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
PERROUD, Préparateur au Lycée Fontanes.
PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 3, rue Richer,
PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.
PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.
PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.
POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.
POUSSIN D'ELBEUF, Ingénieur manufacturier.
PRAZMOWSKI, Constructeur d'Instruments d'optique, 1, rue Bonaparte.
PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.
PROTCHE (**le Colonel**), Commandant en second de l'École Polytechnique.
PUCHEU, Professeur au Collége de Béziers.
PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.
PUYFONTAINE (**Comte de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 59, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
RAMEAUX, Professeur à la Faculté de Nancy.
RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.
RAYET, Professeur à la Faculté de Bordeaux, 88, rue du Tondu.
RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.
REYNIER, Ingénieur, 19, avenue de l'Observatoire.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
REY, Professeur de mathématiques à l'École régimentaire du Génie, à Arras.
RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 37, rue du Château.
ROLLAND (**E.**), Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.
ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.
ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirrier, 44, rue de Poissy, à Enghien.
ROOSEVELT, Ingénieur, 1, rue de la Bourse.
ROUSSE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne, 23, rue Saint-Étienne.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 7, rue Taranne.
SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.
SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boulevard Saint-Germain.

MM.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 61, avenue de Villiers.
SCHÆFER (**G.-H.**), Professeur au Collége d'Alais.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.
SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 36, rue Gay-Lussac.
SECCHI (**le P. A.**), Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
SÉGUIN, Recteur de l'Académie de Caen.
SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SIMOUTRE (**l'Abbé**), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.
SIRE (**G.**), Docteur ès sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon, 15, rue des Chambrettes.
SIRVENT, Professeur au Collége Rollin, 116, rue de Rennes.
SOBAUX (**l'Abbé**), Prof. au Petit Séminaire de Paris, 19, rue N.-D.-des-Champs.
SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.
SPOTTISWOODE (**W.**), Vice-Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
STOKES (**G.-G.**), Lucasian Professor of Mathematics in the University of Cambridge. — Lensfield Cottage Cambridge.
STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nîmes, 61, rue Roussy.
TERNANT, Repr^t de la Cie de l'Eastern Telegraph, 8, r. Pavé-d'Amour, Marseille.
TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.
THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.
THOMSON (**Sir William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow.
TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).
TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 69, avenue de l'Alma.
TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.
TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).
TRIPIER (**le D^r**), 6, rue Louis-le-Grand.
TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.
TURIÈRE, Professeur au Collége de Béziers.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.
VAN DER VLIT, Privat-Docent de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.
VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électromagnétiques, 67, avenue de Wagram.
VARACHE, Professeur au Collége de Béziers.
VARIN, Professeur au Collége, à Épinal.
VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.
VERMEILLE, Professeur, 49, rue du Cardinal-Lemoine.
VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.

MM.

VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.
VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).
VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
WALFERDIN, à Nice.
WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.
WERLEIN, Constructeur d'Instruments d'optique, 7, rue Berthollet.
WEST, Intendant militaire en retraite, 13, rue Bonaparte.
WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.
WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.
WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 95, rue des Feuillantines.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.
ZILOFF, Professeur de Physique, à Moscou (Russie).

Mars 1878.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 5 JANVIER 1877 1
Sur les effets d'un jet d'air lancé dans l'eau; par M. *E. de Romilly*.... 2
Quelques nouvelles expériences de capillarité; par M. *E. de Romilly*.. 5
De la suspension et de l'ébullition de l'eau sur un tissu à larges mailles; par M. *E. de Romilly* 6

SÉANCE DU 19 JANVIER 1877 8
Expériences de projection où l'on utilise la persistance des impressions sur la rétine; par M. *J. Duboscq* 10
Procédé employé pour atténuer la résonnance des salles de réunion. Lettre de M. *A. Cavaillé-Coll* 13

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1877 14
Diverses expériences d'électricité; par M. *de Waha* 15
Sur les caractères des décharges électriques de la torpille; par M. *Marey*. 17
Abaque graphique des lentilles; par M. *Gariel* 21

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1877 24
Sur l'électromètre à quadrants de M. Thomson; par M. *Benoît* 25
Sur l'observation de la partie infra-rouge du spectre solaire au moyen des effets de phosphorescence; par M. *Ed. Becquerel* 31

SÉANCE DU 2 MARS 1877 39
Sur les applications d'un appareil nouveau, destiné à déterminer l'astigmatisme visuel; par M. *Javal* 40
Sur la cause du mouvement dans le radiomètre; par MM. *Bertin* et *Garbe* 46

SÉANCE DU 16 MARS 1876 51
Recherches sur les spectres des métaux à la base des flammes; par M. *Gouy* 52
Détermination expérimentale des éléments principaux d'un système optique; par M. *A. Cornu* 53

SÉANCE DU 6 AVRIL 1877 (séance de Pâques) 66

SÉANCE DU 20 AVRIL 1877 68
Microscope polarisant, par M. *Nodot* 69

Pages.

SÉANCE DU 4 MAI 1877 71
Relations entre la propagation de la chaleur et de l'élasticité dans les matières à structure symétrique, par M. *Ed. Jannettaz* 72
Divisibilité de la lumière électrique, par M. *Jablochkoff* 78
Lanterne de projection et mégascope, par M. *L. Laurent* (séance du 6 avril 1877) 80

SÉANCE DU 18 MAI 1877 84
Sur la résistance intérieure des éléments thermo-électriques, par M. *L. Rolland* 84
Nouveau relais, par M. *Tommasi* 86

SÉANCE DU 1er JUIN 1877 88
Sur le spectre de l'étincelle électrique dans un gaz comprimé, par M. *A. Cazin* 89

SÉANCE DU 15 JUIN 1877 93
Pile de M. Camacho, par M. *A. Niaudet* 94
Nouvelle lampe électrique à rhéophores circulaires obliques, par M. *Émile Reynier* 95
Évaporomètres et autres appareils enregistreurs de l'Observatoire de Montsouris, par M. *Marié-Davy* 98

SÉANCE DU 6 JUILLET 1877 100
Recherches sur la photographie, par M. *A. Angot* 101

SÉANCE DU 20 JUILLET 1877 108
Sur un nouvel appareil destiné à la mesure de la fréquence des mouvements périodiques, par M. *Marey* 109

SÉANCE DU 2 NOVEMBRE 1877 110
Des téléphones, par M. *A. Niaudet* 110

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1877 117
Production de divers hydrates dans les solutions sursaturées concentrées sous l'influence d'une action mécanique, par M. *D. Gernez* 117
De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations lumineuses colorées, par M. *A. Rosenstiehl* 120

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1877 135
Des plaques circulaires aimantées où les lignes isodynamiques sont des circonférences concentriques, par M. *Duter* 136
Liquéfaction des gaz, par M. *Brillouin* 143
Allocution de M. le Président 153
Catalogue de la bibliothèque de la Société 155
Liste des instruments reçus 160
Liste des Membres de la Société 161
Table des Matières 173
PLANCHE.

4316 PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, QUAI DES AUGUSTINS, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.